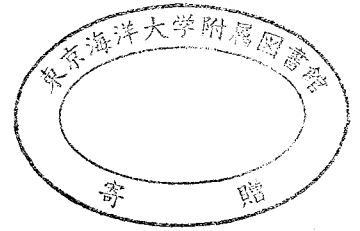


# 歩行空間における混合交通評価シミュレーション手法に関する研究

|        |   |
|--------|---|
| 著者     | 大和田 恵   |
| 学位授与機関 | 東京商船大学  |
| 学位授与年度 | 2004  |
| URL    | <a href="http://id.nii.ac.jp/1342/00000645/">http://id.nii.ac.jp/1342/00000645/</a> |



修士学位論文

歩行空間における  
混合交通評価シミュレーション手法に関する研究

平成16年度

(2004)

東京商船大学大学院

商船学研究科

流通情報工学専攻

大和田 恵

# 修士学位論文要旨

## 歩行空間における混合交通評価シミュレーション手法に関する研究

大和田 恵

我々が日常生活で利用する歩道は、人が歩くことを前提に設計され、道路の構造や規格の基準となる道路構造令もこれに従ったものである。しかし道路構造令は、歩道に関して明確な基準を定めたものではなく、歩道を利用する歩行者の数や歩行流を必ずしも反映したものではない。実際には歩道には、一般歩行者のほかにも高齢者や幼児・ベビーカー・車椅子・自転車など多様な交通モードが限られた空間内に混在している。歩行空間は、これら交通モードと一般歩行者の共存を考慮して設計されていないため、両者が混在することで事故問題がしばしば生じている。

さらに近年、自転車のマナー低下による交通事故や放置自転車の増加に加え、高いモビリティの追求・環境問題への対応の観点から、歩道上を走行する短距離交通手段が開発され、歩行空間のあり方が大きく変わってきており再考する必要がでてきている。

こうした歩行空間に存在する交通モードの存在が一般歩行者に及ぼす影響については、個々の交通モードに関する分析研究はこれまでもなされているが、多様な交通モードを包括的に対象とした研究は少なく、定量的に分析されたものは極めて少ない。

そこで本研究では、多様な交通モードの混在する歩行空間を評価する指標を作成し、混合交通状況进行评估するシミュレーション手法を構築することを目的としている。

本論文の構成としては、まず、道路構造令や歩行空間に関する既往研究を取り上げることで、歩行空間の現状と課題をまとめる。

次に、歩行者の挙動をモデル化するために本研究で実施した歩行者実験について述べる。この歩行者実験で得られた歩行者の挙動パラメータを用いて、多様な交通モードと一般歩行者が混在する歩行空間におけるシミュレーション手法を構築する。その後、構築したシミュレーションの妥当性を検証する。そして、シミュレーションの妥当性が得られた上で、シミュレーションを用いて歩行空間を多数設定し、出力される歩行者の挙動パラメータにより、多様な交通モードの混在する歩行空間の評価を行なう。

以上より、従来の研究では分析し得なかった混合交通状況下の歩行空間を評価する手法を開発し、交通モードの混在する歩行空間のあり方を考察する。

# 目次

|            |                             |           |
|------------|-----------------------------|-----------|
| <b>第1章</b> | <b>はじめに</b>                 | <b>7</b>  |
| 1.1        | 研究の背景                       | 7         |
| 1.2        | 研究の目的                       | 8         |
| 1.3        | 研究の手順                       | 9         |
| <b>第2章</b> | <b>歩行空間の現状と課題</b>           | <b>10</b> |
| 2.1        | 道路構造令                       | 10        |
| 2.2        | 既往研究                        | 10        |
| 2.2.1      | 自転車の影響分析                    | 10        |
| 2.2.2      | 私的短距離交通手段に関する研究             | 10        |
| 2.2.3      | 車椅子の影響分析                    | 10        |
| 2.2.4      | 高齢者や障害者の影響分析                | 11        |
| 2.2.5      | 障害物の影響分析                    | 11        |
| 2.3        | 歩行空間における分析手法                | 11        |
| 2.4        | 歩行空間の現状と課題                  | 12        |
| <b>第3章</b> | <b>歩行者実験</b>                | <b>13</b> |
| 3.1        | 実験の意義                       | 13        |
| 3.2        | 実験の概要                       | 13        |
| 3.2.1      | 状況設定                        | 14        |
| 3.2.2      | アンケート項目                     | 16        |
| 3.3        | 実験結果                        | 16        |
| 3.3.1      | パラメータの算出                    | 17        |
| 3.3.2      | アンケートの集計                    | 19        |
| <b>第4章</b> | <b>混合交通シミュレーションの構築</b>      | <b>20</b> |
| 4.1        | 概要と目的                       | 20        |
| 4.2        | シミュレーション仕様                  | 20        |
| 4.2.1      | アルゴリズム                      | 20        |
| 4.2.2      | パラメータ                       | 22        |
| 4.3        | 妥当性の検証                      | 23        |
| 4.3.1      | アンケートとの比較                   | 23        |
| 4.3.2      | 歩行者空間モジュール                  | 27        |
| 4.4        | Visual Basic によるシミュレーションの実行 | 30        |
| <b>第5章</b> | <b>歩行空間の評価分析</b>            | <b>31</b> |
| 5.1        | 混入率の変化                      | 32        |
| 5.1.1      | 高齢者の混入率による影響                | 32        |



|            |                       |           |
|------------|-----------------------|-----------|
| 5.1.2      | 車椅子の混入率による影響          | 33        |
| 5.1.3      | 自転車の混入率による影響          | 34        |
| 5.2        | 平均速度による歩行者の回避挙動       | 36        |
| 5.3        | 台車の混入                 | 38        |
| 5.4        | 障害物の混入                | 39        |
| 5.5        | 歩行スペースの変化             | 42        |
| 5.6        | 幅員の変化                 | 43        |
| 5.7        | まとめ                   | 44        |
| <b>第6章</b> | <b>歩行空間のあり方に関する考察</b> | <b>45</b> |
| 6.1        | 交通モードのあり方の考察          | 46        |
| 6.1.1      | 高齢者                   | 46        |
| 6.1.2      | 車椅子                   | 51        |
| 6.1.3      | 台車                    | 56        |
| 6.1.4      | 自転車                   | 60        |
| 6.1.5      | 障害物                   | 65        |
| 6.1.6      | 雨天時における障害物・台車のあり方     | 70        |
| 6.2        | 一般歩行者換算係数             | 72        |
| <b>第7章</b> | <b>おわりに</b>           | <b>74</b> |
| 7.1        | 本研究のまとめ               | 74        |
| 7.2        | 今後の課題                 | 74        |

# 図 目 次

|      |  |    |
|------|--|----|
| 1.1  | 自転車事故の推移 [1]                           | 7  |
| 1.2  | 自転車事故の発生場所 [1]                         | 8  |
| 1.3  | セグウェイ                                  | 8  |
| 1.4  | バイコ                                    | 8  |
| 1.5  | 研究の手順                                  | 9  |
| 3.1  | 第 3 章の位置づけ                             | 13 |
| 3.2  | 実験場所                                   | 14 |
| 3.3  | 歩行領域                                   | 14 |
| 3.4  | 実験風景                                   | 16 |
| 3.5  | 位置座標の抽出手順                              | 17 |
| 3.6  | xy 軸の定義                                | 18 |
| 4.1  | 第 4 章の位置づけ                             | 20 |
| 4.2  | シミュレーションの基本アルゴリズム                      | 21 |
| 4.3  | 追い越しおよびすれ違い回避行動のアルゴリズム                 | 21 |
| 4.4  | 左右回避回数とアンケート項目 I の相関関係 ( $r=0.63$ )    | 25 |
| 4.5  | 加減速回数とアンケート項目 III の相関関係 ( $r=0.61$ )   | 25 |
| 4.6  | PS 侵入回数とアンケート項目 IV の相関関係 ( $r=-0.50$ ) | 26 |
| 4.7  | アンケート項目 IV と VII の相関関係 ( $r=0.92$ )    | 26 |
| 4.8  | 歩行者の人数増加による回避挙動の変化と歩行者空間モジュール          | 29 |
| 4.9  | VB によるシミュレーションの実行画面                    | 30 |
| 4.10 | シミュレーションの凡例                            | 30 |
| 5.1  | 第 5 章の位置づけ                             | 31 |
| 5.2  | 高齢者混入率による歩行者の回避行動                      | 32 |
| 5.3  | 車椅子混入率による歩行者の回避行動                      | 33 |
| 5.4  | 自転車混入率による歩行者の回避行動                      | 34 |
| 5.5  | 左右回避回数による比較                            | 35 |
| 5.6  | 加減速回数による比較                             | 35 |
| 5.7  | PS 侵入回数による比較                           | 36 |
| 5.8  | 平均歩行速度による歩行者の回避行動                      | 37 |
| 5.9  | 台車混入による歩行者の回避行動                        | 38 |
| 5.10 | 障害物の数                                  | 39 |
| 5.11 | 障害物の数による歩行者の回避行動                       | 40 |
| 5.12 | 障害物の位置                                 | 40 |
| 5.13 | 障害物の位置による歩行者の回避行動                      | 41 |
| 5.14 | 放置自転車の位置                               | 41 |

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| 5.15 放置自転車による歩行者の回避行動                 | 42 |
| 5.16 幅員による歩行者挙動                       | 43 |
| 6.1 第6章の位置づけ                          | 45 |
| 6.2 一般歩行者 15 名・幅員 2.7m 下における高齢者の影響分析  | 46 |
| 6.3 一般歩行者 20 名、幅員 2.7m 下における高齢者の影響分析  | 47 |
| 6.4 一般歩行者 10 名、幅員 2.4m 下における高齢者の影響分析  | 48 |
| 6.5 一般歩行者 15 名、幅員 2.4m 下における高齢者の影響分析  | 49 |
| 6.6 一般歩行者 20 名、幅員 2.4m 下における高齢者の影響分析  | 50 |
| 6.7 一般歩行者 15 名・幅員 2.7m 下における車椅子の影響分析  | 51 |
| 6.8 一般歩行者 20 名・幅員 2.7m 下における車椅子の影響分析  | 52 |
| 6.9 一般歩行者 10 名・幅員 2.4m 下における車椅子の影響分析  | 53 |
| 6.10 一般歩行者 15 名・幅員 2.4m 下における車椅子の影響分析 | 54 |
| 6.11 一般歩行者 20 名・幅員 2.4m 下における車椅子の影響分析 | 55 |
| 6.12 一般歩行者 15 名・幅員 2.7m 下における台車の影響分析  | 56 |
| 6.13 一般歩行者 20 名・幅員 2.7m 下における台車の影響分析  | 57 |
| 6.14 一般歩行者 15 名・幅員 2.4m 下における台車の影響分析  | 58 |
| 6.15 一般歩行者 20 名・幅員 2.4m 下における台車の影響分析  | 59 |
| 6.16 一般歩行者 15 名・幅員 2.7m 下における自転車の影響分析 | 60 |
| 6.17 一般歩行者 20 名・幅員 2.7m 下における自転車の影響分析 | 61 |
| 6.18 一般歩行者 10 名・幅員 2.4m 下における自転車の影響分析 | 62 |
| 6.19 一般歩行者 15 名・幅員 2.4m 下における自転車の影響分析 | 63 |
| 6.20 一般歩行者 20 名・幅員 2.4m 下における自転車の影響分析 | 64 |
| 6.21 障害物の位置                           | 65 |
| 6.22 一般歩行者 15 名・幅員 2.7m 下における障害物の影響分析 | 65 |
| 6.23 一般歩行者 20 名・幅員 2.7m 下における障害物の影響分析 | 66 |
| 6.24 一般歩行者 10 名・幅員 2.4m 下における障害物の影響分析 | 67 |
| 6.25 一般歩行者 15 名・幅員 2.4m 下における障害物の影響分析 | 68 |
| 6.26 一般歩行者 20 名・幅員 2.4m 下における障害物の影響分析 | 69 |
| 6.27 雨天時における障害物の影響分析                  | 70 |
| 6.28 雨天時における台車の影響分析                   | 71 |

# 表 目 次

|      |                                  |    |
|------|----------------------------------|----|
| 3.1  | 算出したパラメータ                        | 18 |
| 3.2  | アンケート項目の相関行列 (下三角行列のみ)           | 19 |
| 4.1  | 歩行者実験で得られたパラメータ値 (第 3 章)         | 22 |
| 4.2  | 取り入れたパラメータ                       | 22 |
| 4.3  | 妥当性の検証に用いた実験状況 20t は幅員半分         | 23 |
| 4.4  | シミュレーションの出力結果とアンケートの比較           | 24 |
| 4.5  | フルーインのサービス水準                     | 27 |
| 4.6  | 歩行者の人数増加による回避挙動と歩行者空間モジュール       | 28 |
| 5.1  | 高齢者混入率による歩行者の回避行動                | 32 |
| 5.2  | 車椅子混入率による歩行者の回避行動                | 33 |
| 5.3  | 自転車混入率による歩行者の回避行動                | 34 |
| 5.4  | 状況別歩行者の歩行速度                      | 36 |
| 5.5  | 平均歩行速度による回避行動                    | 37 |
| 5.6  | 台車混入による歩行者の回避行動                  | 38 |
| 5.7  | 障害物の数による歩行者の回避行動                 | 39 |
| 5.8  | 障害物の位置による歩行者の回避行動                | 40 |
| 5.9  | 放置自転車 (障害物の形状) による歩行者の回避行動       | 41 |
| 5.10 | 雨天時における歩行者の挙動                    | 42 |
| 5.11 | 幅員による歩行者の挙動                      | 43 |
| 6.1  | 一般歩行者 15 名・幅員 2.7m 下における高齢者の影響分析 | 46 |
| 6.2  | 一般歩行者 20 名、幅員 2.7m 下における高齢者の影響分析 | 47 |
| 6.3  | 一般歩行者 10 名、幅員 2.4m 下における高齢者の影響分析 | 48 |
| 6.4  | 一般歩行者 15 名、幅員 2.4m 下における高齢者の影響分析 | 49 |
| 6.5  | 一般歩行者 20 名、幅員 2.4m 下における高齢者の影響分析 | 50 |
| 6.6  | 一般歩行者 15 名・幅員 2.7m 下における車椅子の影響分析 | 51 |
| 6.7  | 一般歩行者 20 名・幅員 2.7m 下における車椅子の影響分析 | 52 |
| 6.8  | 一般歩行者 10 名・幅員 2.4m 下における車椅子の影響分析 | 53 |
| 6.9  | 一般歩行者 15 名・幅員 2.4m 下における車椅子の影響分析 | 54 |
| 6.10 | 一般歩行者 20 名・幅員 2.4m 下における車椅子の影響分析 | 55 |
| 6.11 | 一般歩行者 15 名・幅員 2.7m 下における台車の影響分析  | 56 |
| 6.12 | 一般歩行者 20 名・幅員 2.7m 下における台車の影響分析  | 57 |
| 6.13 | 一般歩行者 15 名・幅員 2.4m 下における台車の影響分析  | 58 |
| 6.14 | 一般歩行者 20 名・幅員 2.4m 下における台車の影響分析  | 59 |
| 6.15 | 一般歩行者 15 名・幅員 2.7m 下における自転車の影響分析 | 60 |
| 6.16 | 一般歩行者 20 名・幅員 2.7m 下における自転車の影響分析 | 61 |

|   |    |
|---|----|
| 6.17 一般歩行者 10 名・幅員 2.4m 下における自転車の影響分析 . . . . . | 62 |
| 6.18 一般歩行者 15 名・幅員 2.4m 下における自転車の影響分析 . . . . . | 63 |
| 6.19 一般歩行者 20 名・幅員 2.4m 下における自転車の影響分析 . . . . . | 64 |
| 6.20 一般歩行者 15 名・幅員 2.7m 下における障害物の影響分析 . . . . . | 65 |
| 6.21 一般歩行者 20 名・幅員 2.7m 下における障害物の影響分析 . . . . . | 66 |
| 6.22 一般歩行者 10 名・幅員 2.4m 下における障害物の影響分析 . . . . . | 67 |
| 6.23 一般歩行者 15 名・幅員 2.4m 下における障害物の影響分析 . . . . . | 68 |
| 6.24 一般歩行者 20 名・幅員 2.4m 下における障害物の影響分析 . . . . . | 69 |
| 6.25 雨天時における障害物の影響分析 . . . . .                  | 70 |
| 6.26 雨天時における台車の影響分析 . . . . .                   | 71 |
| 6.27 高齢者の一般歩行者換算係数 . . . . .                    | 72 |
| 6.28 車椅子の一般歩行者換算係数 . . . . .                    | 72 |
| 6.29 台車の一般歩行者換算係数 . . . . .                     | 72 |
| 6.30 自転車の一般歩行者換算係数 . . . . .                    | 73 |

# 第1章 はじめに

## 1.1 研究の背景

我々が日常生活で利用する歩道は、人が歩くことを前提に設計され、道路の構造や規格の基準となる道路構造令もこれに従ったものである。しかし実際には歩道は、一般歩行者・ベビーカー・車椅子・自転車・原動機付き自転車など多様な交通モードが限られた空間内に混在している。

さらに近年、自転車の運転マナー低下による交通事故や放置自転車の増加に加え、より高いモビリティの追求・環境問題への対応の観点から、歩道上を走行する短距離交通手段が開発され、歩道の混乱に拍車を掛けている。

このことから歩道は、人々が安全・安心・快適に通行できる状況とはいいがたく、それらの存在によって様々な危険が生じており、歩道のあり方を再考する必要がでてきている。

### 自転車の交通事故

自転車は環境にもやさしく、また、その便利さから子供からお年寄りまで幅広く利用されており、生活に欠かせないものとなっている。しかし、その一方で自転車の交通ルールやマナーも低下しており、自転車の交通事故が多発している(図 1.1)。また、自転車と歩行者の衝突事故も多く、その場所は歩道・路側帯における衝突が著しい(図 1.2)。

しかし、このような事故を減らす具体的な対策は明確にわかっておらず、今後は自転車と歩行者の共存を目指した対応策を検討する必要があるといえる。

図中のグラフの指数は、1998 年の自転車事故・全事故の件数を 100 としている。

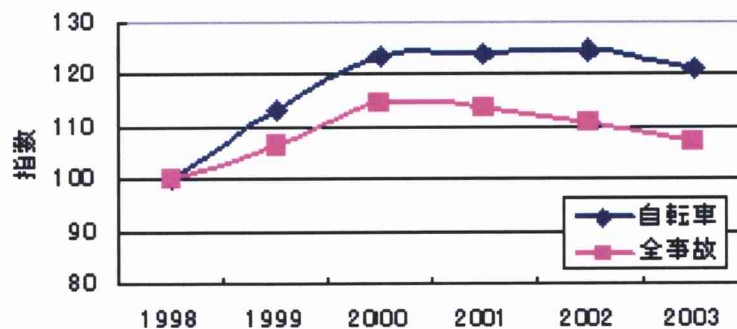


図 1.1: 自転車事故の推移 [1]

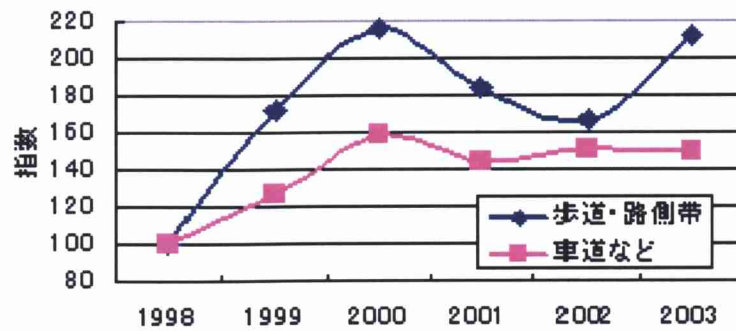


図 1.2: 自転車事故の発生場所 [1]

### 私的短距離交通手段

近年、より高いモビリティの追求・高齢社会の到来・環境問題といった社会的背景から、短距離移動を目的とし、誰にでも比較的容易に操縦できる新しい個人用交通手段（以下、私的短距離交通手段 [2]）が多数開発されてきている（図 1.3、図 1.4）。

このような交通モードは、その車両寸法や重量・形状・挙動・スピードなどが従来の交通手段とは大きく異なっており、さらなる歩道の混乱を引き起こす可能性がある。



図 1.3: セグウェイ



図 1.4: バイコ

## 1.2 研究の目的

自転車や車椅子などの存在が一般歩行者に及ぼす影響については、これまでも個々の分析研究はされてきた。しかし、多様な交通手段・利用者を包括的に対象とした研究は少なく、定量的に分析されたものは極めて少ない。

そこで本研究では、多様な交通モードの混在する歩行空間を評価する指標を作成し、混合交通状況进行评估するシミュレーション手法を構築することを目的とする。

### 1.3 研究の手順

本研究は7章から成り、本研究の構成を以下に示す。

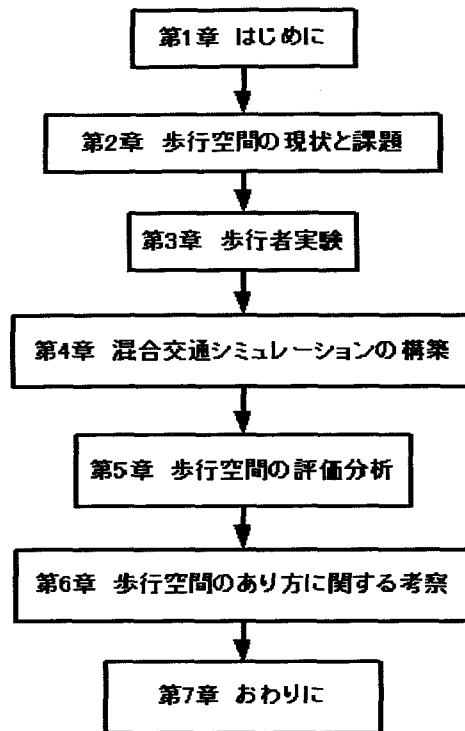


図 1.5: 研究の手順

まず第1章では、自転車事故や私的短距離交通手段を取り上げ、現状の歩行空間には多数の問題があることについて述べることにより、本研究の位置づけと目的を示した。

次に第2章では、道路構造令や歩行空間に関する既往研究を取り上げることにより、歩行空間の現状と課題をまとめる。

第3章では、歩行者や交通モードの挙動を観測するために実施した歩行者実験の概要およびその結果を述べる。

第4章では、第3章の歩行者実験で得られた結果を用いて、歩行空間の評価指標を作成する。そして、歩道における混合交通シミュレーションを構築し、シミュレーションの妥当性の検証を行なう。

第5章では、構築したシミュレーションのパラメータを変えて様々な歩行空間を設定し、混合交通状況下の歩行空間の評価を行なう。

第6章では、交通モードの混在する歩行空間のあり方について考察する。

そして第7章で、本研究のまとめを行なう。



## 第2章 歩行空間の現状と課題

### 2.1 道路構造令

歩道に関する法律として道路構造令がある [3]。この政令は、道路構造の一般的技術的基準を定めたもので、昭和 45 年 10 月に制定され、その後 9 回改正されている。しかし、歩道に関して幅員等は定めているが歩道を利用する歩行者の数や歩行流を必ずしも反映したものではない。また、道路を新設または改築する場合における政令であるため、既設の道路構造に関しては十分な効力を持たない。さらに、自転車や車椅子などの交通モードと一般歩行者の共存を考慮して設計されていないため、両者の混在で問題が生じている箇所も見られる。

### 2.2 既往研究

#### 2.2.1 自転車の影響分析

歩行空間に存在するものとして歩行者の次に多い交通モードが自転車である。自転車は自動車利用による交通渋滞や環境悪化に対して、その利用が注目を集めている。しかし、自転車は歩行者より速度が速く走行特性が大きく異なるため、歩行者にとっては危険や威圧感を感じさせる存在になりかねない。

山中ら [4] は、歩道における自転車と歩行者が混在する自歩道等を対象として 11 地点の交通状況の観測を行ない、歩行者換算存在密度・自転車混入率・方向率と主体の速度・挙動回数との関係を分析している。その結果、これら 3 つの指標は各交通主体の速度や回避挙動に深く関連しており、サービスレベルの設定に考慮すべきであるとしている。

また、自転車と歩行者の交錯時に主体者が危険を感知するニアミス状態を相対位置・相対速度から判定するモデルを提案している既往研究もある [5]。これによると、提案したモデルを用いてビデオ観測からニアミス頻度を予測して混在交通を評価する方法を開発し、これをもとに混在交通のサービスレベルを設定し、交通密度・自転車速度などの交通状況、通行者の危険感・不快感などの評価意識との関連を明らかにしている。

#### 2.2.2 私的短距離交通手段に関する研究

金ら [2] は、主に短距離を移動するために個人が利用する交通手段「私的短距離交通手段」に関する意識調査を実施し、これをもとに人々の交通モード共存意識を把握することにより、歩行系交通モードの優先順位を明らかにしている。また、道路通行帯の利用区分に着目して、意識面から見た交通手段の近似性を分析することにより、自転車や電動三輪車は通行帯配置の最も難しい交通手段であるとしている。

#### 2.2.3 車椅子の影響分析

歩行空間における車椅子に関する研究もなされていて [6]、これによると歩道幅員の設定に重要な歩行者挙動に注目し、幅員の異なる実際の 2 つの歩道を対象とした調査を行ない、車椅子混入時の歩行者の密度

増加や車椅子の混入台数の増加が、歩行者に与える影響について考察している。また、車椅子とすれ違う歩行者の密度や速度などの歩行者の挙動やその状況について調査している報告書もある [7]。

さらに車椅子に関する既往研究には、車椅子が混入することにより、歩行者の平均速度を低下させ、空間密度と速度の相関を低いものにするという報告もある [8]。

#### 2.2.4 高齢者や障害者の影響分析

高齢者や障害者の立場から見た歩行空間のあり方に関する研究もなされていて [9]、インスタントシニア (高齢者疑似体験用具を着用した健常者) と健常者の歩行速度を実測することによって高齢者の歩行行動特性を把握し、さらにインスタントシニアの人数および配置場所を変化させて歩行速度を計測することにより、インスタントシニアの存在が群集の避難に及ぼす影響を分析している。

#### 2.2.5 障害物の影響分析

以上のような交通モードの影響分析のほかにも、歩行空間上に存在する障害物の影響も研究されている。佐藤ら [8] は、車いす混入時の歩行空間を分析するとともに、障害物が混入することで利用されない空間が生じ、その結果として有効幅員が減少し、特にすれ違い後の歩行者の平均速度に対して影響を及ぼすとしている。このことから、歩行空間における障害物の影響は決して無視できるものではなく、車椅子が障害物によって減少した有効幅員でも、ゆとりを持って走行できる幅員と障害物の形態を十分に検討することが必要であるとしている。

### 2.3 歩行空間における分析手法

こうした歩行空間の解析手法は、

- アンケート

アンケートによる歩道利用者の意識調査 [2][10]

- ビデオ解析

一般歩道に分析対象の交通モードを混入させ、このビデオ映像から歩行者の挙動を分析する手法 [4][6][7]

- 歩行者実験

大学構内などで目的とする歩道状況を仮想的に再現し、被験者にその歩道を歩行してもらい、そのビデオ映像から歩行者の挙動を分析する手法 [8][9]

- 複数の解析手法を用いた分析

アンケートと歩行者実験を連動させた分析 [5]

- シミュレーション構築による分析

歩行者の挙動をモデル化し、シミュレーションを構築することによって、歩行空間における歩行者の挙動を分析する手法 [11][12]

に分けられる。

## 2.4 歩行空間の現状と課題

このように歩行空間における自転車や高齢者・車椅子など個々の交通モードが歩行者に及ぼす影響についての分析研究は多数されている。しかし、多様な交通手段・利用者を包括的に対象とした研究は少なく、定量的に分析されたものは極めて少ない。

自転車事故の増大・放置自転車の増加・私的短距離交通手段の開発・高齢社会の到来・環境問題といった社会変化から、今後、歩行空間はますます混乱すると予想され、あらゆる歩行空間の状況を分析し、評価・検討・改善するツールや政策が必要となってくると考えられる。

## 第3章 歩行者実験

### 3.1 実験の意義

本研究では、自転車や車椅子など多様な交通モードの混在する歩行空間において、これらの存在が歩行者挙動へ与える影響を分析する。しかし、一般歩道において混合交通状況をビデオ撮影するのは非常に困難であるため、歩行者実験を行ないデータの収集を行なう。

実験では、様々な交通モードの混在した歩行空間を多数設定し、被験者に普段と同じように歩行をしてもらうこととした。この様子をビデオ録画したのち、画像処理によって歩行者の位置座標を抽出し、歩行者の挙動パラメータを詳細に分析する。また、実験中にアンケートを実施することで、歩行空間の快適さや威圧感など歩行者の心理的影響も分析する(図 3.1)。

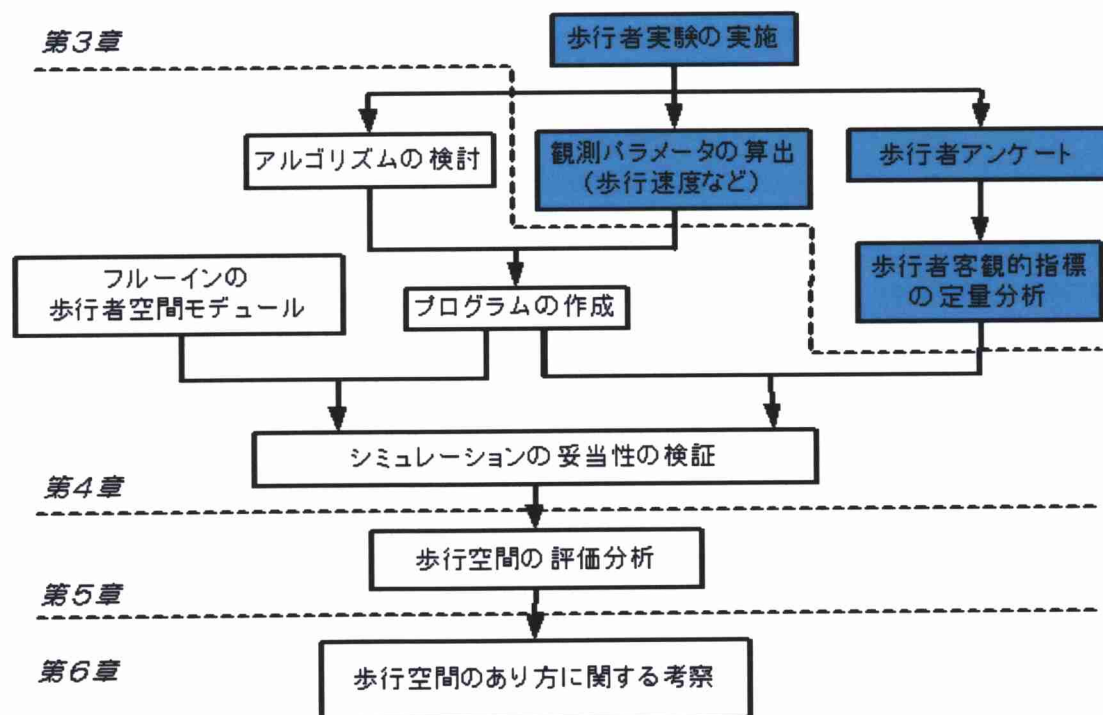


図 3.1: 第3章の位置づけ

### 3.2 実験の概要

一般歩行者・自転車・車椅子・高齢者・台車・障害物を歩行空間に混在させた状況を多数設定し(55 ケース)、その状況を建物5階からビデオ撮影する。実験場所は東京海洋大学越中島キャンパス内とする。被験者は10名、自転車は一般のシティサイクルとし、実験に使用する車椅子は学内の保健管理センターで借り、台車は東京海洋大学流通施設計画研究室から借りた。高齢者に関しては、耳栓をし、うつむき加減で普段よ

り遅い歩行をしてもらうことにより、高齢者に見立てた。また、画像処理の便宜上、被験者には紅白帽子を被ってもらう。

歩行にばらつきを持たせるため A～F 地点に被験者を割り振りスタートさせる（図 3.2、図 3.3）。

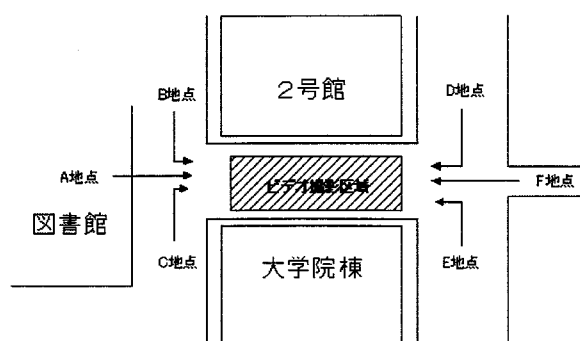


図 3.2: 実験場所

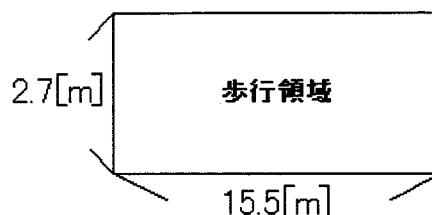


図 3.3: 歩行領域

### 3.2.1 状況設定

以下に実験で設定した状況を挙げる。

- 歩行者のみ

- 1. 単独歩行

- 各歩行者の希望歩行速度<sup>1</sup> を測定する。

- 2. 歩行者全員

- 被験者を進行方向別に半分に分ける。

- 自転車混入

- 1. 自転車単独

- 自転車の希望走行速度を測定する。

- 2. 歩行者 1 対 対向自転車 1

- 歩行者 1 人とその歩行者に対向する自転車 1 台を混入させる。

- 3. 歩行者 1 対 後方自転車 1

- 歩行者 1 人とその歩行者の後方から自転車 1 台を混入させる。

- 4. 歩行者全員 + 自転車 1

- 被験者を方向別に半分に分け、自転車を混入させる。

- 台車混入

- 1. 台車単独

- 台車の希望速度を測定する。

- 2. 歩行者 1 対 対向台車 1

- 3. 歩行者 1 対 後方台車 1

<sup>1</sup>一般的に、歩行者は歩行速度を上げるのに十分なスペースがあった場合でも、あえて加速せずに無理のない速度で歩行する。歩行者にとって一番歩きやすいこのような歩行を希望歩行という。

4. 歩行者多数 対 対向台車 1  
複数の歩行者とそれら歩行者に対向する台車 1 台を混入させる。
  5. 歩行者多数 対 後方台車 1  
複数の歩行者とそれら歩行者の後方から台車 1 台を混入させる。
  6. 歩行者全員 + 台車 1
- 障害物混入
    1. 歩行者全員 + 障害物  
被験者を方向別に半分に分け、障害物を設置する。
  - 車椅子混入  
車椅子に関しては、介助付き車椅子と自走車椅子の 2 つを考える。
    1. 車椅子単独  
車椅子の希望走行速度を測定する。
    2. 歩行者 1 対 対向車椅子 1
    3. 歩行者多数 対 対向車椅子 1
    4. 歩行者全員 + 車椅子 1
  - 高齢者混入
    1. 高齢者単独  
高齢者の希望歩行速度を測定する。
    2. 歩行者 1 対 対向高齢者 1
    3. 歩行者全員 + 高齢者 1 人
    4. 歩行者全員 + 高齢者 2 人
  - 自転車と車椅子混入
    1. 車椅子 1 対 対向自転車 1
    2. 車椅子 1 対 後方自転車 1
    3. 車椅子 1 対 対向自転車 1 + 歩行者全員  
被験者を方向別に半分に分け、車椅子を 1 台混入させ、その車椅子に対向する自転車を混入させる。
    4. 車椅子 1 対 後方自転車 1 + 歩行者全員  
被験者を方向別に半分に分け、車椅子を 1 台混入させ、その車椅子の後方から自転車を混入させる。
  - 台車と車椅子混入
    1. 車椅子 1 対 対向台車 1 + 歩行者全員
    2. 車椅子 1 対 後方台車 1 + 歩行者全員
  - 混合混入
    1. 自転車 1 + 障害物 + 歩行者全員  
被験者を方向別に半分に分け、自転車と障害物を混入させる。

2. 自転車1 + 台車1 + 歩行者全員
3. 車椅子1 + 障害物 + 歩行者全員
4. 車椅子1 + 台車1 + 歩行者全員
5. 自転車1 + 障害物 + 台車1 + 歩行者全員
6. 自転車1 + 障害物 + 車椅子1 + 歩行者全員
7. 自転車1 + 障害物 + 台車1 + 車椅子1 + 歩行者全員

● 政策導入

1. 自転車左側通行 + 歩行者全員  
被験者を方向別に半分に分け、自転車は左側通行とする。
2. 歩行者全員左側通行  
被験者を方向別に半分に分け、左側通行してもらう。
3. 幅員を半分にして歩行者全員  
被験者を方向別に半分に分け、幅員は半分にする。

### 3.2.2 アンケート項目

実施したアンケートは7項目あり、各歩行空間を歩行後にそれぞれの項目に5段階で答えてもらった。  
なお、このアンケート項目は既往研究[10]を参考にしたものである。

- I. 対向者または前方者に対して回避行動をしようと思いましたか？
- II. 回避行動をする際、実際に思うように回避できましたか？
- III. 歩行中、加速または減速をしようと思いましたか？
- IV. 歩行スペースは十分でしたか？
- V. 歩行している際に危険を感じましたか？
- VI. 周囲から威圧感を感じましたか？
- VII. 歩行空間は快適でしたか？

### 3.3 実験結果

図3.4は実験風景である。



図 3.4: 実験風景

### 3.3.1 パラメータの算出

撮影したビデオ映像から被験者の位置座標を抽出するため、まず画像処理を行なう。画像処理の一連の手順は以下の通りである（図 3.5）。

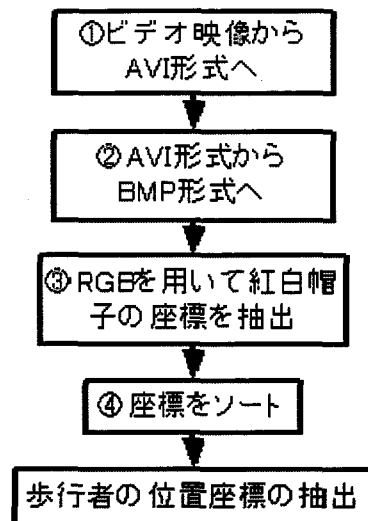


図 3.5: 位置座標の抽出手順

1. まず、実験で得られたビデオ映像を AVI 形式に変換し、パソコン上で解析しやすいようにする。
2. 次に、AVI 形式のビデオ映像を 30 フレーム／秒で BMP 形式の静止画像にする。
3. RGB によって、BMP 形式の静止画像から紅白帽子 (R) の XY 座標を取り出す (fortran プログラミング)。
4. 取り出した紅白帽子の座標を歩行者ごとにソートする (fortran プログラミング)。
5. 一連の作業により、ビデオ映像から歩行者の位置座標を抽出する。

これにより、55 ケースの歩行空間における歩行者の位置座標が得られた。

- 歩行者の希望歩行 20 ケース
- 1 対 1 の回避行動観測 12 ケース
- 交通モード混入シーン 23 ケース

上記の手順で抽出した歩行者の位置座標から、歩行挙動のパラメータを算出した。算出したパラメータおよび値を表 3.1 に挙げる<sup>2</sup>。

<sup>2</sup>表 3.1 における回避ピクセル; 本研究では 1 秒間あたり 30 フレームで歩行者の位置座標を算出しているが、回避ピクセルとは左右に回避する際の 1 フレームあたりの移動量のことをいう。今回は 0.021[m/ピクセル] である。



表 3.1: 算出したパラメータ

|        |                    |                         |
|--------|--------------------|-------------------------|
| 希望速度   | 歩行者の平均速度と標準偏差      | 1.55[m/s],0.198         |
|        | 高齢者                | 0.70[m/s]               |
|        | 車椅子                | 0.89[m/s]               |
|        | 台車                 | 1.55[m/s]               |
|        | 自転車                | 2.23[m/s]               |
| 回避ピクセル | 高齢者・車椅子            | 0.30                    |
|        | 歩行者・台車             | 0.62                    |
|        | 自転車                | 0.85                    |
| すれ違い判断 | 自転車の歩行者・台車に対する回避基準 | (x,y)=(0.21[m],6.31[m]) |
|        | 自転車の車椅子に対する回避基準    | (x,y)=(0.18[m],8.90[m]) |
|        | 歩行者・台車の車椅子に対する回避基準 | (x,y)=(0.22[m],6.27[m]) |
|        | 歩行者・台車の高齢者に対する回避基準 | (x,y)=(0.54[m],3.48[m]) |
|        | 上記以外の回避基準          | (x,y)=(0.54[m],8.90[m]) |
| 追い越し判断 |                    | (x,y)=(0.60[m],2.0[m])  |

ここで  $x$  は進行方向に対して垂直の軸（縦軸）、 $y$  は進行方向の軸である（図 3.6）。

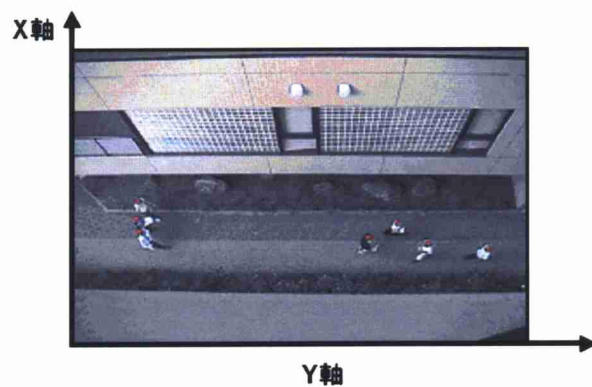


図 3.6: xy 軸の定義

### 3.3.2 アンケートの集計

実施したアンケート項目は先述した7項目ある。

- I. 対向者または前方者に対して回避行動をしようと思いましたか？
- II. 回避行動をする際、実際に思うように回避できましたか？
- III. 歩行中、加速または減速をしようと思いましたか？
- IV. 歩行スペースは十分でしたか？
- V. 歩行している際に危険を感じましたか？
- VI. 周囲から威圧感を感じましたか？
- VII. 歩行空間は快適でしたか？

各項目の相関を求めた(表 3.2)。

表 3.2: アンケート項目の相関行列 (下三角行列のみ)

|     | I     | II    | III   | IV    | V     | VI    | VII  |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| I   | 1.00  |       |       |       |       |       |      |
| II  | -0.01 | 1.00  |       |       |       |       |      |
| III | 0.62  | -0.54 | 1.00  |       |       |       |      |
| IV  | -0.59 | 0.56  | -0.71 | 1.00  |       |       |      |
| V   | 0.63  | -0.33 | 0.60  | -0.55 | 1.00  |       |      |
| VI  | 0.62  | -0.24 | 0.75  | -0.71 | 0.73  | 1.00  |      |
| VII | -0.62 | 0.51  | -0.67 | 0.92  | -0.57 | -0.70 | 1.00 |

このことから歩行空間の快適さは、歩行スペースが十分であることと回避行動したいときに回避できる空間があることに比例し、左右への回避行動や加減速行動、歩行している際に感じる危機感や威圧感によって減少するということがわかった。

## 第4章 混合交通シミュレーションの構築

### 4.1 概要と目的

本研究では、混合交通モードが存在する歩行空間を評価するシミュレーションを構築する。

具体的には、第3章の歩行者実験で得られた観測パラメータを用いてシミュレーションを構築し、まず歩行者実験と同じ状況をシミュレーション上で再現する。次に、このシミュレーションで出力される歩行者の挙動パラメータと実験時に実施したアンケートで得られた被験者の行動を比較することにより、シミュレーションの妥当性を検証する。また、フルーインの歩行者空間モジュールを用いた検証も行なう。

図4.1に、本論文における本章の位置づけを示す。

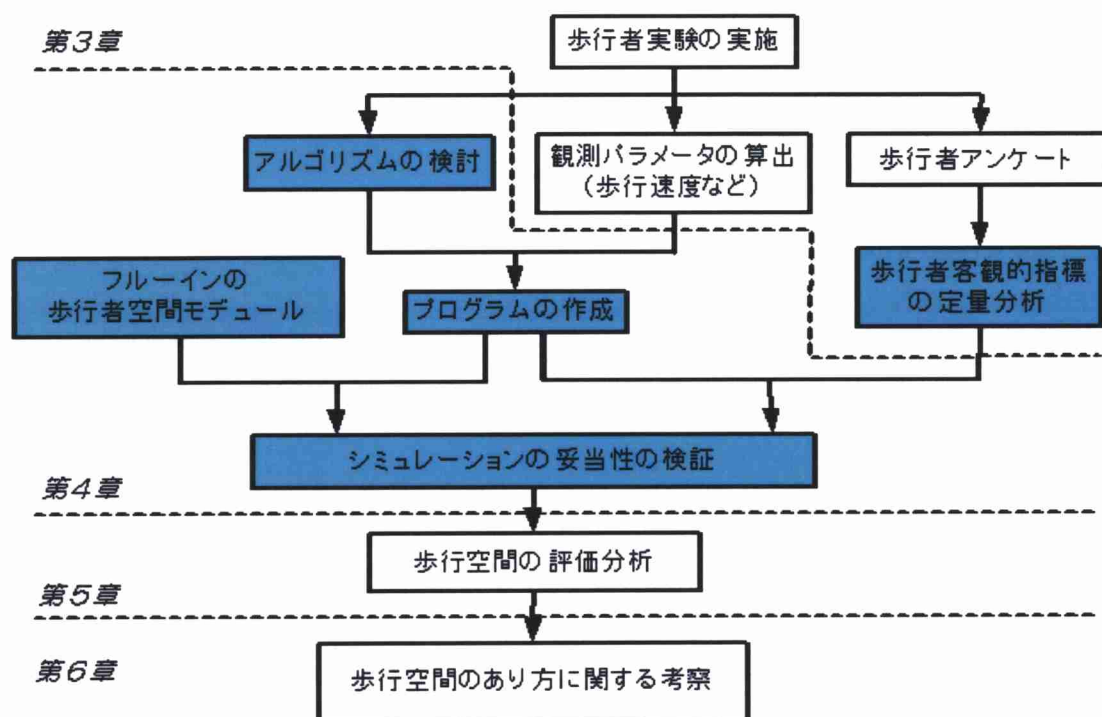


図 4.1: 第4章の位置づけ

### 4.2 シミュレーション仕様

#### 4.2.1 アルゴリズム

シミュレーションのプログラムにはC言語を用いた。本研究で構築する混合交通シミュレーションのアルゴリズムを示す(図4.2, 図4.3)。

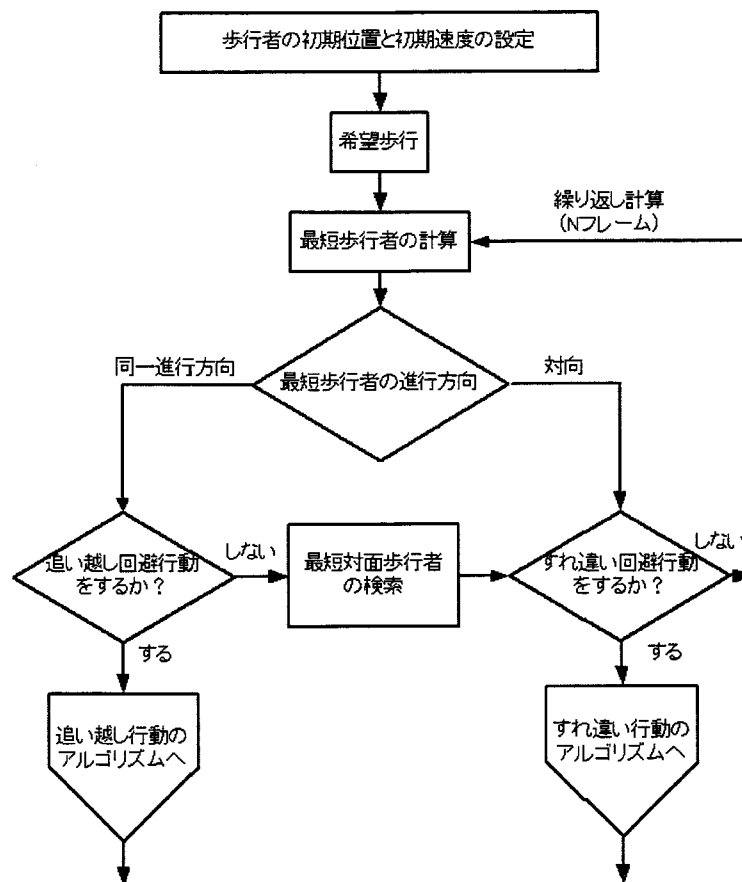


図 4.2: シミュレーションの基本アルゴリズム

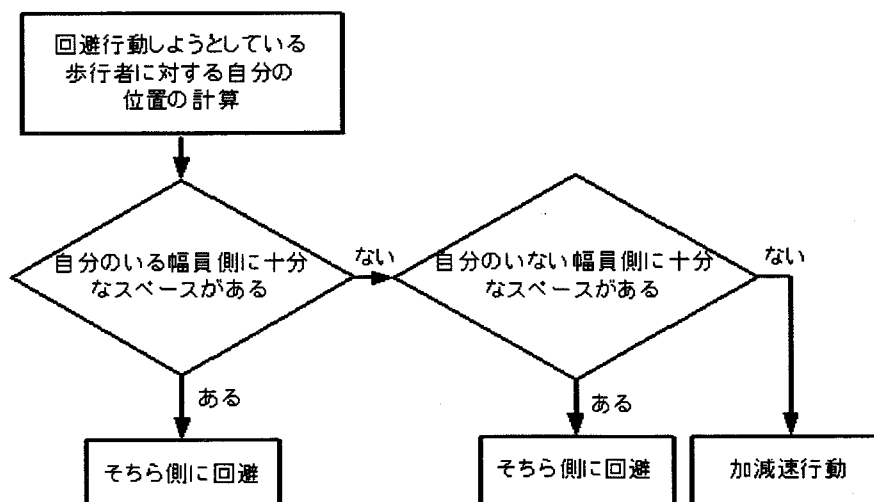


図 4.3: 追い越しおよびすれ違い回避行動のアルゴリズム

## 4.2.2 パラメータ

シミュレーションで用いたパラメータは、表 4.1、表 4.2 のとおりである<sup>1 2</sup>。

表 4.1: 歩行者実験で得られたパラメータ値 (第 3 章)

|        |                    |                         |
|--------|--------------------|-------------------------|
| 希望速度   | 歩行者の平均速度と標準偏差      | 1.55[m/s],0.198         |
|        | 高齢者                | 0.70[m/s]               |
|        | 車椅子                | 0.89[m/s]               |
|        | 台車                 | 1.55[m/s]               |
|        | 自転車                | 2.23[m/s]               |
| 回避ピクセル | 高齢者・車椅子            | 0.30                    |
|        | 歩行者・台車             | 0.62                    |
|        | 自転車                | 0.85                    |
| すれ違い判断 | 自転車の歩行者・台車に対する回避基準 | (x,y)=(0.21[m],6.31[m]) |
|        | 自転車の車椅子に対する回避基準    | (x,y)=(0.18[m],8.90[m]) |
|        | 歩行者・台車の車椅子に対する回避基準 | (x,y)=(0.22[m],6.27[m]) |
|        | 歩行者・台車の高齢者に対する回避基準 | (x,y)=(0.54[m],3.48[m]) |
|        | 上記以外の回避基準          | (x,y)=(0.54[m],8.90[m]) |
| 追い越し判断 |                    | (x,y)=(0.60[m],2.0[m])  |

表 4.2: 取り入れたパラメータ

|                  |                         |
|------------------|-------------------------|
| 幅員 †             | 2.70[m]                 |
| 歩行者の初期位置         | 前後 8.0[m] の一様乱数         |
| 歩行者の初期速度 †       | (1.55[m/s],0.198) の正規乱数 |
| 人体円の直径サイズ [12]   | 40[cm]                  |
| 車椅子のサイズ †        | 110[cm] × 65[cm]        |
| 台車のサイズ †         | 60[cm] × 90[cm]         |
| 自転車のサイズ †        | 180[cm] × 56[cm]        |
| パーソナルスペース [12]   | 人体円 × 1.2               |
| コマ数 †            | 30[フレーム/秒]              |
| 回避スペースがなかったときの減速 | 60%減速                   |

表 4.2 の † は歩行者実験と同じ値である。そのほかは主観的に取り入れた。

<sup>1</sup>表 4.2 における人体円; 人体をモデル化する際、多くの研究では人体を真上から見てそれを三角形や円などで表現している。本研究では、モデルを単純化するため歩行者を円で与えることとした。

<sup>2</sup>パーソナルスペース; 個人が歩行する際に必要な空間で、他者が侵入することにより不快と感じる領域となる。本研究では、人体円 (半径  $r$ ) に対するパーソナルスペースの円の半径の比率を  $1.2r$  としている。

## 4.3 妥当性の検証

### 4.3.1 アンケートとの比較

各交通モードの数を歩行者実験と同じにしてシミュレーションを実行し、「歩行者が左右に回避する回数（以下、左右回避回数）」「歩行者が加減速した回数（以下、加減速回数）」「十分な歩行空間が得られなかった回数（以下、パーソナルスペース侵入回数；PS 侵入回数）」を出力した。この結果を歩行者実験で実施したアンケート項目「Ⅰ. 対向者または前方者に対して回避行動をしようと思ったか？」「Ⅲ. 加速または減速しようと思ったか？」「Ⅳ. 歩行スペースは十分であったか？」と各々比較することにより、本研究で構築するシミュレーションの妥当性を検証する。

用いた歩行者実験のケースは 20 ケースで (表 4.3)、シミュレーションでは歩行者の初期位置座標を 500 回変えて、その平均値で比較した。

表 4.3: 妥当性の検証に用いた実験状況 20† は幅員半分

| NO. | 障害物 | 左側流入人数 |     |    |       |     | 右側流入人数 |     |    |       |     |
|-----|-----|--------|-----|----|-------|-----|--------|-----|----|-------|-----|
|     |     | 高齢者    | 車椅子 | 台車 | 一般歩行者 | 自転車 | 高齢者    | 車椅子 | 台車 | 一般歩行者 | 自転車 |
| 1   | 0   | 0      | 0   | 0  | 5     | 0   | 0      | 0   | 0  | 5     | 0   |
| 2   | 0   | 0      | 0   | 0  | 0     | 0   | 0      | 0   | 0  | 6     | 1   |
| 3   | 0   | 0      | 0   | 1  | 2     | 0   | 0      | 0   | 0  | 4     | 0   |
| 4   | 1   | 0      | 0   | 1  | 0     | 0   | 0      | 0   | 0  | 6     | 0   |
| 5   | 1   | 0      | 0   | 0  | 4     | 0   | 0      | 0   | 0  | 3     | 0   |
| 6   | 0   | 0      | 1   | 0  | 4     | 0   | 0      | 0   | 0  | 4     | 0   |
| 7   | 0   | 1      | 0   | 0  | 4     | 0   | 0      | 0   | 0  | 4     | 0   |
| 8   | 0   | 1      | 0   | 0  | 4     | 0   | 1      | 0   | 0  | 4     | 0   |
| 9   | 0   | 0      | 1   | 0  | 3     | 0   | 0      | 0   | 0  | 4     | 1   |
| 10  | 0   | 0      | 0   | 0  | 4     | 0   | 0      | 1   | 0  | 3     | 1   |
| 11  | 0   | 0      | 0   | 1  | 3     | 0   | 0      | 1   | 0  | 4     | 0   |
| 12  | 0   | 0      | 0   | 0  | 4     | 0   | 0      | 1   | 1  | 3     | 0   |
| 13  | 1   | 0      | 0   | 0  | 5     | 0   | 0      | 0   | 0  | 4     | 1   |
| 14  | 0   | 0      | 0   | 1  | 3     | 0   | 0      | 0   | 0  | 5     | 1   |
| 15  | 1   | 0      | 0   | 0  | 5     | 0   | 0      | 1   | 0  | 3     | 0   |
| 16  | 0   | 0      | 1   | 0  | 3     | 0   | 0      | 0   | 1  | 4     | 0   |
| 17  | 1   | 0      | 0   | 1  | 4     | 0   | 0      | 0   | 0  | 1     | 4   |
| 18  | 1   | 0      | 1   | 0  | 3     | 0   | 0      | 0   | 0  | 4     | 1   |
| 19  | 1   | 0      | 0   | 1  | 3     | 0   | 0      | 1   | 0  | 3     | 1   |
| 20† | 0   | 0      | 0   | 0  | 5     | 0   | 0      | 0   | 0  | 5     | 0   |

これにより得られたシミュレーション出力とアンケート結果を表 4.4 にまとめる。

表 4.4: シミュレーションの出力結果とアンケートの比較

| NO. | シミュレーション出力 |       |         | アンケート集計結果 |       |       |
|-----|------------|-------|---------|-----------|-------|-------|
|     | 左右回避回数     | 加減速回数 | PS 侵入回数 | I         | III   | IV    |
| 1   | 22.89      | 26.90 | 28.20   | 3.000     | 1.800 | 3.700 |
| 2   | 27.73      | 36.01 | 42.28   | 2.833     | 1.833 | 1.833 |
| 3   | 26.54      | 36.82 | 28.34   | 3.000     | 1.667 | 3.500 |
| 4   | 23.60      | 26.64 | 38.47   | 2.333     | 1.333 | 3.833 |
| 5   | 25.36      | 33.80 | 25.50   | 3.000     | 1.571 | 3.000 |
| 6   | 24.93      | 38.66 | 31.36   | 3.000     | 2.000 | 3.750 |
| 7   | 26.40      | 37.49 | 34.13   | 3.500     | 1.625 | 3.500 |
| 8   | 34.08      | 38.92 | 37.24   | 3.625     | 1.750 | 3.000 |
| 9   | 28.04      | 42.54 | 32.50   | 2.857     | 2.571 | 2.857 |
| 10  | 37.09      | 48.82 | 36.28   | 4.286     | 4.143 | 1.429 |
| 11  | 22.46      | 41.53 | 38.02   | 2.143     | 2.143 | 3.429 |
| 12  | 28.74      | 40.96 | 32.33   | 3.143     | 2.286 | 2.429 |
| 13  | 31.16      | 40.48 | 41.68   | 3.444     | 2.889 | 2.222 |
| 14  | 30.07      | 44.56 | 38.05   | 3.875     | 3.625 | 2.500 |
| 15  | 33.24      | 37.15 | 37.56   | 4.125     | 2.625 | 3.125 |
| 16  | 30.25      | 39.62 | 37.08   | 3.143     | 2.143 | 2.857 |
| 17  | 34.73      | 42.27 | 40.70   | 2.875     | 2.000 | 2.875 |
| 18  | 33.47      | 47.98 | 41.77   | 2.857     | 2.714 | 3.000 |
| 19  | 35.61      | 52.06 | 46.51   | 3.333     | 3.167 | 1.833 |
| 20  | 58.88      | 72.09 | 78.92   | 4.100     | 2.800 | 1.900 |

相関分析を行なった結果、「左右回避回数」と「アンケート項目 I. 対向者または前方者に対して回避行動をしようと思ったか？」の相関係数が 0.63(図 4.4)、「加減速回数」と「アンケート項目 III. 加速または減速しようと思ったか？」の相関係数が 0.61(図 4.5)、「PS 侵入回数」と「アンケート項目 IV. 歩行スペースは十分であったか？」の相関係数が-0.50(図 4.6)であった。

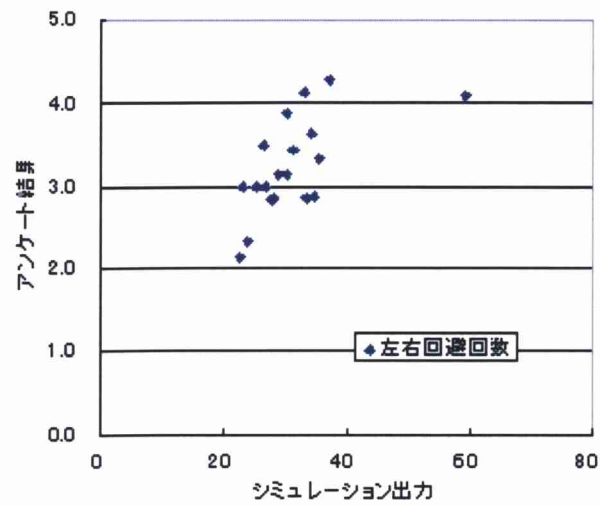


図 4.4: 左右回避回数とアンケート項目 I の相関関係 ( $r=0.63$ )

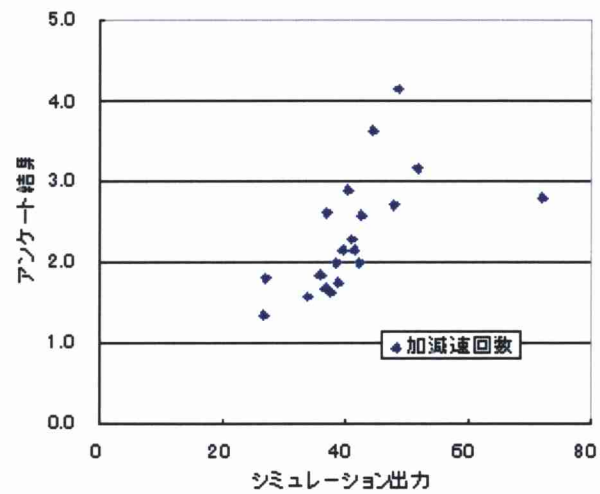


図 4.5: 加減速回数とアンケート項目 III の相関関係 ( $r=0.61$ )



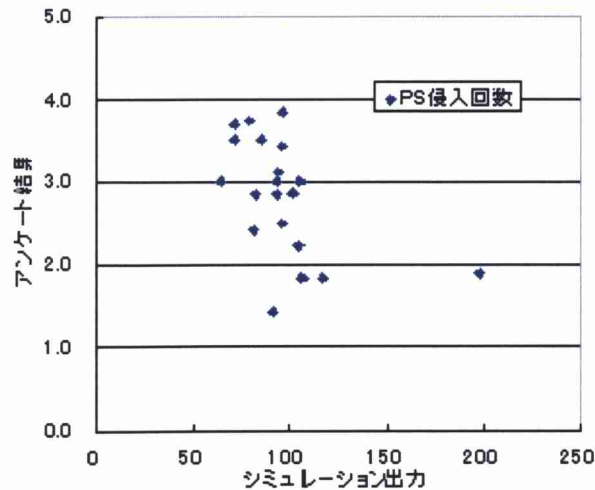


図 4.6: PS 侵入回数とアンケート項目Ⅳの相関関係 ( $r=-0.50$ )

各項目の相関係数は 0.4 以上あることから、両者の間にはかなりの相関があると言える。つまり、シミュレーションは歩行者実験の状況を概ね再現しており、本研究で構築したシミュレーションは現状を再現するのに妥当であると判断できる。

また、「アンケート項目Ⅳ．歩行スペースは十分であったか？」と「アンケート項目Ⅶ．歩行空間は快適であったか？」の相関係数は 0.92 である (第 3 章)。

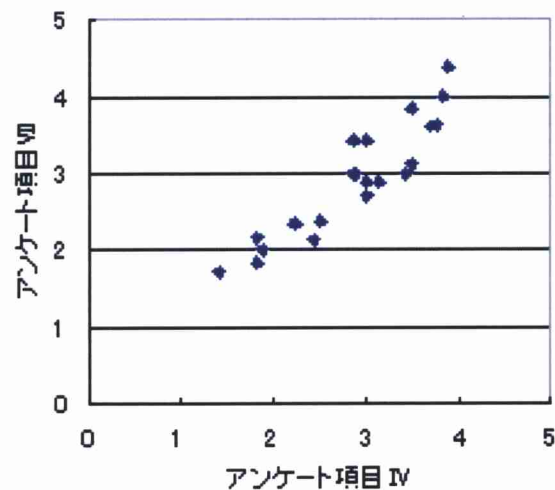


図 4.7: アンケート項目ⅣとⅦの相関関係 ( $r=0.92$ )

このことから、シミュレーション出力「PS 侵入回数」と「歩行空間は快適であったか？」も密接な関係であると考えられ、パーソナルスペースに他者が侵入される回数が多いほど歩行空間も快適とは感じなくなるということが言える。

### 4.3.2 歩行者空間モジュール

ジョン・J・フルーインが提唱した歩行者空間モジュール  $M$ （1人あたりの歩行面積）を用いて、シミュレーションの妥当性を検証する [13]。これは面積と歩行者の人数から、歩行空間の状況を示す指標である。歩行者空間モジュール  $M(m^2/\text{人})$  は次式で求められる。

$$M = \frac{\text{歩行空間面積}}{\text{歩行空間内人数}} \quad (4.1)$$

フルーインのサービス水準 (A-F) も併記して表 4.5 に示す。

表 4.5: フルーインのサービス水準

| LEVEL | $M(m^2/\text{人})$ | 状況                                      |
|-------|-------------------|---|
| A     | 3.25 以上           | 遅い人を追い抜いたり、好きな歩行速度を自由に選択できる十分な面積がある。    |
| B     | 2.30-3.25         | 対向流や交差流のあるところでは、衝突の可能性がわずかにある。          |
| C     | 1.40-2.30         | 追い抜きや速度選択の自由は制限される。                     |
| D     | 0.93-1.40         | 追い抜きや衝突回避は困難で、大部分の歩行者の速度は低下する。          |
| E     | 0.46-0.93         | すべての歩行者が通常の歩行速度では歩けず、足取りも頻繁に変えなければならない。 |
| F     | 0.46 以下           | もはやコントロールの逸した交通マヒであるといえる。               |

歩道に一般歩行者のみが存在する場合に、一般歩行者の人数を増加させていったときの回避挙動およびフルーインの歩行者空間モジュールを算出した（表 4.6）。

表 4.6: 歩行者の人数増加による回避挙動と歩行者空間モジュール

| 歩行者の人数 | シミュレーション結果 |       |         | 歩行者空間モジュール        |       |
|--------|------------|-------|---------|-------------------|-------|
|        | 左右回避回数     | 加減速回数 | PS 侵入回数 | $M(m^2/\text{人})$ | LEVEL |
| 2      | 4.54       | 2.18  | 0.00    | 14.58             | A     |
| 3      | 7.65       | 9.72  | 3.31    | 9.72              | A     |
| 4      | 10.22      | 12.03 | 5.56    | 7.29              | A     |
| 5      | 12.41      | 15.74 | 8.08    | 5.83              | A     |
| 6      | 14.71      | 17.97 | 10.75   | 4.86              | A     |
| 7      | 16.22      | 21.55 | 13.43   | 4.17              | A     |
| 8      | 18.75      | 22.95 | 15.95   | 3.65              | A     |
| 9      | 20.07      | 25.89 | 23.81   | 3.24              | B     |
| 10     | 22.15      | 26.49 | 27.58   | 2.92              | B     |
| 11     | 25.35      | 29.27 | 31.37   | 2.65              | B     |
| 12     | 27.09      | 29.82 | 33.12   | 2.43              | B     |
| 13     | 29.56      | 32.19 | 39.77   | 2.24              | C     |
| 14     | 30.58      | 33.74 | 43.66   | 2.08              | C     |
| 15     | 31.09      | 36.02 | 47.44   | 1.94              | C     |
| 16     | 33.33      | 36.03 | 54.47   | 1.82              | C     |
| 17     | 36.05      | 38.49 | 61.00   | 1.72              | C     |
| 18     | 37.32      | 39.91 | 65.19   | 1.62              | C     |
| 19     | 38.34      | 42.18 | 72.65   | 1.53              | C     |
| 20     | 38.89      | 45.41 | 76.56   | 1.46              | C     |
| 21     | 40.56      | 49.48 | 80.14   | 1.39              | D     |
| 22     | 41.83      | 50.27 | 88.31   | 1.33              | D     |
| 23     | 42.42      | 51.59 | 95.86   | 1.27              | D     |
| 24     | 43.56      | 53.58 | 103.07  | 1.22              | D     |
| 25     | 44.90      | 53.89 | 112.84  | 1.17              | D     |

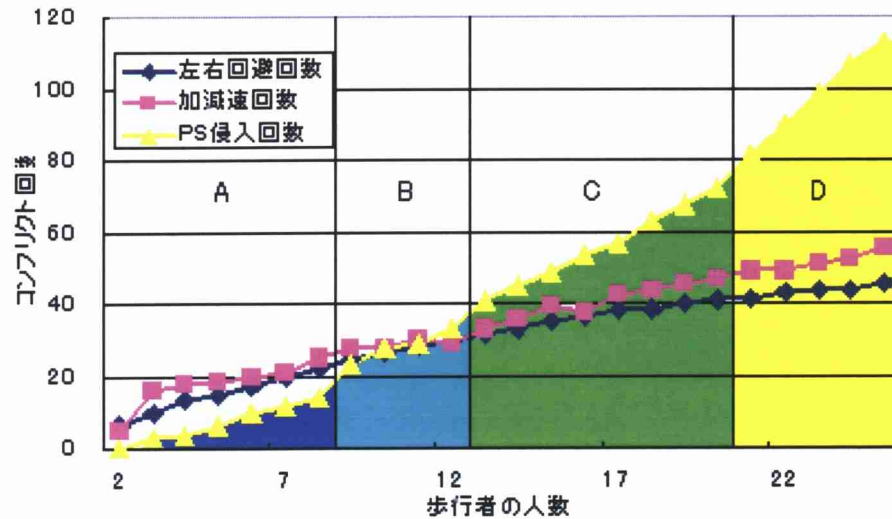


図 4.8: 歩行者の人数増加による回避挙動の変化と歩行者空間モジュール

図 4.8 より<sup>3</sup>、一般歩行者の人数が 9 人を越えると「PS 侵入回数」が急激に大きくなる。また、13 人から 20 人の間、21 人から 25 人の間でも「PS 侵入回数」のグラフの傾きが急になる。このことから、フルレーンのサービス水準の幅で「PS 侵入回数」が変化していることが見て取れる。

以上より、シミュレーションは現状に近い歩行空間を再現しており、出力される歩行者の挙動パラメータを用いることにより、歩行空間の評価ができると判断した。

### 歩行空間評価指標

以上の結果を踏まえ、本研究では、「歩行者が左右に回避する回数（左右回避回数）」「歩行者が加減速した回数（加減速回数）」「十分な歩行空間が得られなかった回数（PS 侵入回数）」の 3 つの指標によって歩行空間を評価することとする。

<sup>3</sup>図 4.8 の縦軸のコンフリクトとは、歩行する際に他者と衝突・接触を避けるために行動することにより、個人の希望歩行が妨げられた状態のことを言う。

## 4.4 Visual Basic によるシミュレーションの実行

シミュレーションにより出力される各歩行者の位置座標をもとに Visual Basic により視覚化した (図 4.9)。各交通モードの寸法は表 4.2、シミュレーションの凡例は図 4.10 の通りである。

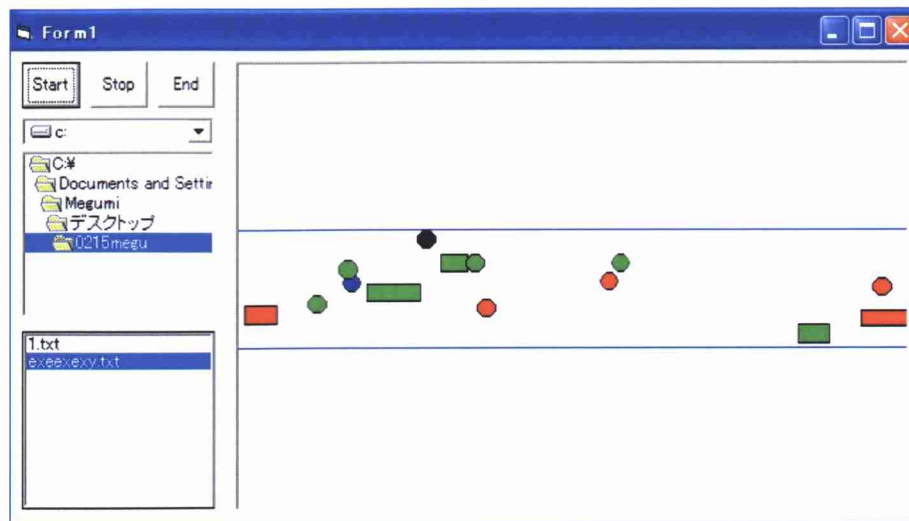


図 4.9: VB によるシミュレーションの実行画面

|       | 左側流入 | 右側流入 |
|-------|------|------|
| 障害物   |      | ●    |
| 一般歩行者 | ●    | ●    |
| 高齢者   | ●    | ●    |
| 車椅子   | ■    | ■    |
| 台車    | ●■   | ■●   |
| 自転車   | ■    | ■    |

図 4.10: シミュレーションの凡例

## 第5章 歩行空間の評価分析

本章では、第4章で構築したシミュレーションを用いて歩行空間を多数設定し、出力される歩行者の挙動により、混合交通が存在する様々な状況の歩行空間の評価を行なう(図5.1)。

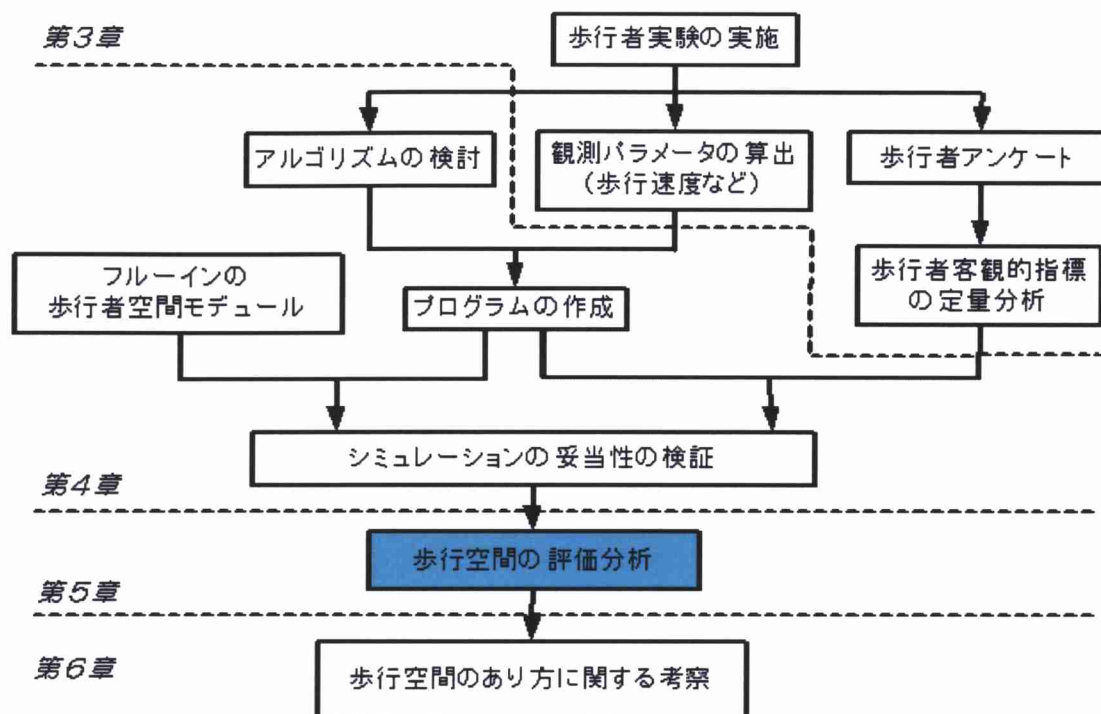


図 5.1: 第5章の位置づけ

## 5.1 混入率の変化

### 5.1.1 高齢者の混入率による影響

歩行空間中に一般歩行者以外に高齢者のみを混入させ、高齢者の混入率を変化させていったときの歩行者の「左右回避回数」「加減速回数」「PS 侵入回数」のコンフリクト回数を算出した。

一般歩行者の数は 20 人とし、歩行者の初期位置を変え、各々 500 回のシミュレーションを行なった。

$$\text{混入率} = \frac{\text{高齢者の人数}}{\text{高齢者の人数} + \text{一般歩行者の人数}} \quad (5.1)$$

表 5.1: 高齢者混入率による歩行者の回避行動

| 混入率  | 高齢者の人数 | 一般歩行者 | 左右回避回数 | 加減速回数 | PS 侵入回数 |
|------|--------|-------|--------|-------|---------|
| 0.0  | 0      | 20    | 39.16  | 45.99 | 76.02   |
| 4.8  | 1      | 20    | 43.24  | 48.72 | 86.66   |
| 9.1  | 2      | 20    | 47.38  | 49.63 | 91.60   |
| 16.7 | 4      | 20    | 55.31  | 55.90 | 98.11   |
| 20.0 | 5      | 20    | 58.20  | 56.77 | 103.21  |
| 25.9 | 7      | 20    | 63.83  | 59.16 | 106.10  |
| 31.0 | 9      | 20    | 69.82  | 62.81 | 109.07  |
| 35.5 | 11     | 20    | 75.15  | 64.81 | 117.80  |
| 39.4 | 13     | 20    | 79.42  | 69.56 | 127.16  |
| 44.4 | 16     | 20    | 87.94  | 71.57 | 139.32  |
| 50.0 | 20     | 20    | 97.20  | 73.23 | 158.01  |
| 54.5 | 24     | 20    | 106.83 | 74.95 | 171.43  |

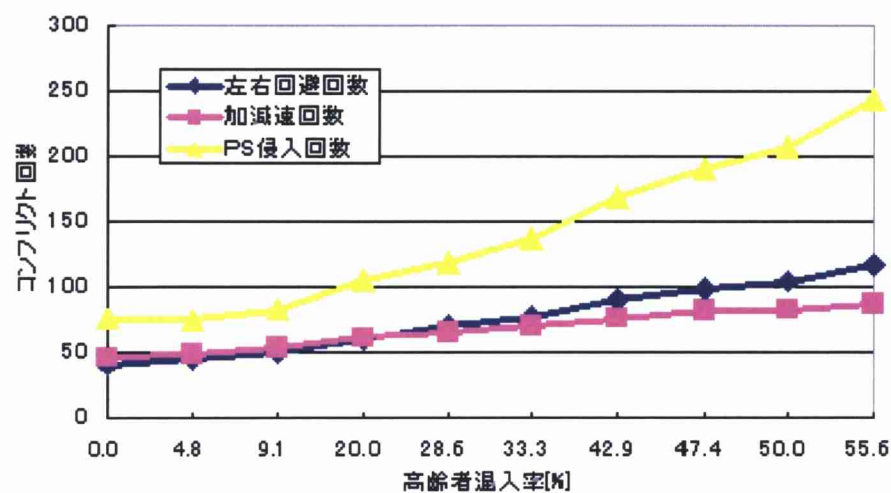


図 5.2: 高齢者混入率による歩行者の回避行動

### 5.1.2 車椅子の混入率による影響

歩行空間中に一般歩行者以外に車椅子のみを混入させ、車椅子の混入率を変化させていったときの歩行者の「左右回避回数」「加減速回数」「PS 侵入回数」のコンフリクト回数を算出した。

一般歩行者の数は 20 人とし、歩行者の初期位置を変え、各々 500 回のシミュレーションを行なった。

$$\text{混入率} = \frac{\text{車椅子の台数}}{\text{車椅子の台数} + \text{一般歩行者の人数}} \quad (5.2)$$

表 5.2: 車椅子混入率による歩行者の回避行動

| 混入率  | 車椅子の台数 | 一般歩行者 | 左右回避回数 | 加減速回数 | PS 侵入回数 |
|------|--------|-------|--------|-------|---------|
| 0.0  | 0      | 20    | 39.16  | 45.99 | 76.02   |
| 4.8  | 1      | 20    | 42.97  | 49.01 | 86.64   |
| 9.1  | 2      | 20    | 46.57  | 50.22 | 90.08   |
| 16.7 | 4      | 20    | 53.79  | 56.79 | 95.57   |
| 20.0 | 5      | 20    | 56.63  | 58.43 | 100.74  |
| 25.9 | 7      | 20    | 62.23  | 61.47 | 106.33  |
| 31.0 | 9      | 20    | 68.07  | 65.19 | 112.63  |
| 35.5 | 11     | 20    | 73.45  | 67.05 | 121.78  |
| 39.4 | 13     | 20    | 77.77  | 73.19 | 134.40  |
| 44.4 | 16     | 20    | 85.56  | 75.78 | 147.35  |
| 50.0 | 20     | 20    | 94.64  | 77.38 | 168.07  |
| 54.5 | 24     | 20    | 103.95 | 79.07 | 186.09  |

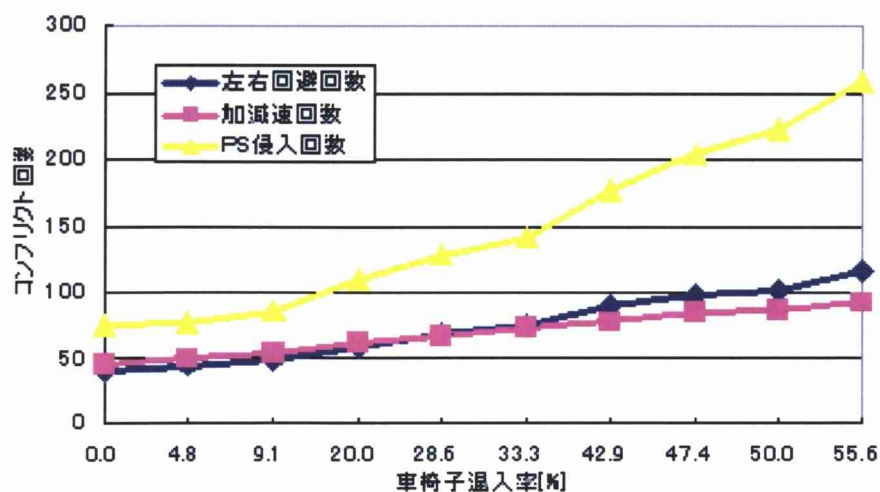


図 5.3: 車椅子混入率による歩行者の回避行動



### 5.1.3 自転車の混入率による影響

歩行空間中に一般歩行者以外に自転車のみを混入させ、自転車の混入率を変化させていったときの歩行者の「左右回避回数」「加減速回数」「PS 侵入回数」のコンフリクト回数を算出した。

一般歩行者の数は 20 人とし、歩行者の初期位置を変え、各々 500 回のシミュレーションを行なった。

$$\text{混入率} = \frac{\text{自転車の台数}}{\text{自転車の台数} + \text{一般歩行者の人数}} \quad (5.3)$$

表 5.3: 自転車混入率による歩行者の回避行動

| 混入率  | 自転車の台数 | 一般歩行者 | 左右回避回数 | 加減速回数 | PS 侵入回数 |
|------|--------|-------|--------|-------|---------|
| 0.0  | 0      | 20    | 39.16  | 45.99 | 76.02   |
| 4.8  | 1      | 20    | 41.64  | 47.93 | 86.89   |
| 9.1  | 2      | 20    | 42.47  | 48.39 | 96.25   |
| 16.7 | 4      | 20    | 45.41  | 51.75 | 102.16  |
| 20.0 | 5      | 20    | 47.06  | 54.48 | 111.20  |
| 25.9 | 7      | 20    | 49.45  | 55.89 | 117.12  |
| 31.0 | 9      | 20    | 52.57  | 58.86 | 123.76  |
| 35.5 | 11     | 20    | 53.74  | 63.78 | 135.86  |
| 39.4 | 13     | 20    | 56.39  | 65.70 | 149.11  |
| 44.4 | 16     | 20    | 59.13  | 69.01 | 164.03  |
| 50.0 | 20     | 20    | 61.43  | 74.95 | 185.20  |
| 54.5 | 24     | 20    | 64.03  | 77.98 | 206.84  |

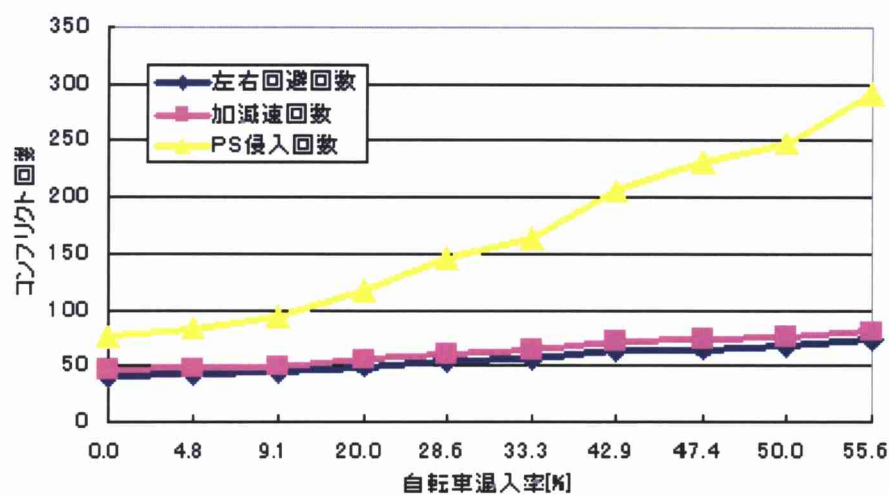


図 5.4: 自転車混入率による歩行者の回避行動

図 5.2、図 5.3、図 5.4 を各コンフリクトごとにグラフ化した（図 5.5、図 5.6、図 5.7）。

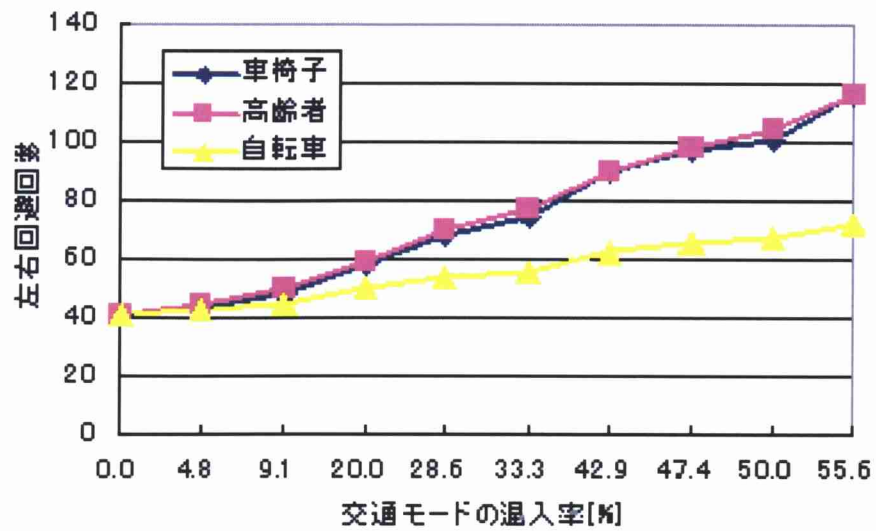


図 5.5: 左右回避回数による比較

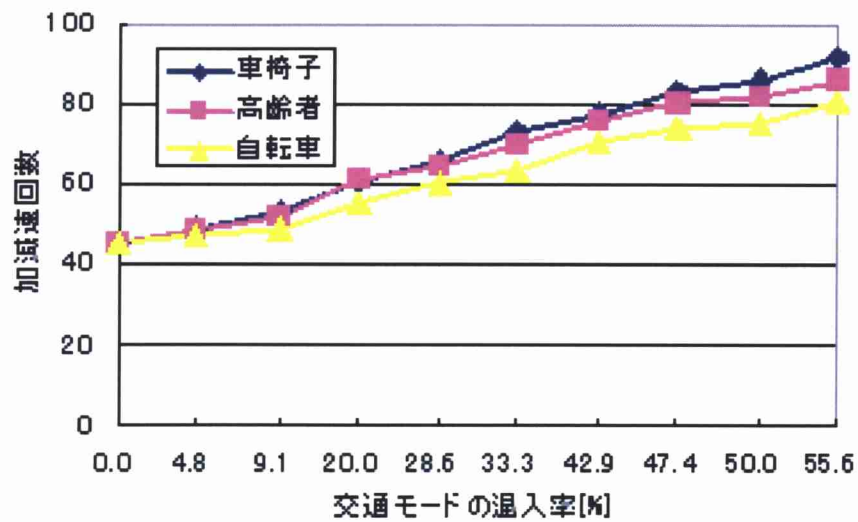


図 5.6: 加減速回数による比較

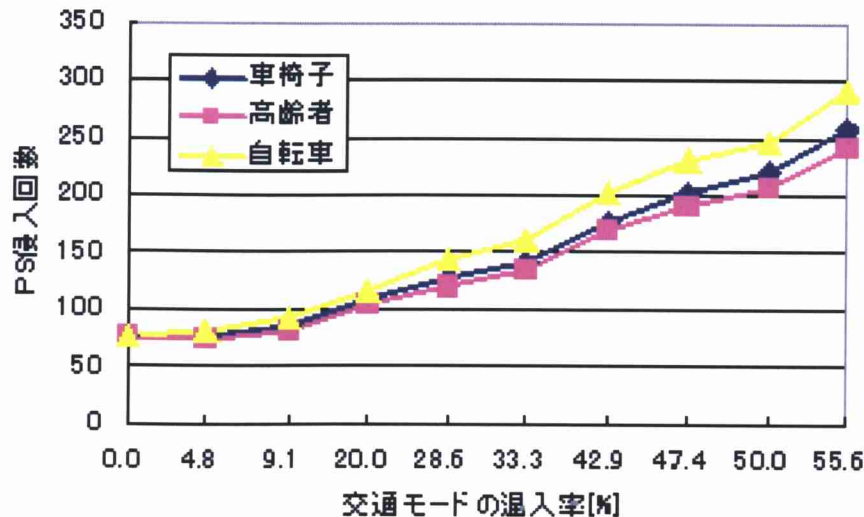


図 5.7: PS 侵入回数による比較

## 結果と考察

以上のように各交通モードの混入率を上げていくと、一般歩行者の左右回避回数、加減速回数、PS 侵入回数は増える結果となった。このことから交通モードの混入率が増えると、左右に回避したり加減速の回数が増え、そのため歩行者は希望歩行を保てなくなり、歩行者の歩行空間に対する快適さは減少するといえる。

また、高齢者や車椅子に対する一般歩行者の回避挙動はほぼ同じであるが、自転車に関しては「左右回避回数」や「加減速回数」は少ないものの「PS 侵入回数」は多い結果となった。これは、高齢者や車椅子に対しては一般歩行者が回避行動をするが、速度の速い自転車は一般歩行者よりも速く回避行動を開始することが考えられ、そのため回避行動をしない一般歩行者は、パーソナルスペース (PS) に侵入される確率が高くなることを反映していると考えられる。このことから、一般歩行者の自転車への不快感は高齢者や車椅子より大きいといえる。

## 5.2 平均速度による歩行者の回避挙動

シミュレーションで用いた一般歩行者の平均速度は、第 3 章の歩行者実験で得られた値をもとに設定している (表 3.1)。歩行者実験の参加者は 21 歳-25 歳と若年層である。しかし、実験結果にも表れているとおり、若年層と高齢者ではその歩行速度が異なる。たとえば、中高生の多い渋谷とシニアの多い銀座といった場所では年齢による歩行速度は変わり、これにより全体の歩行流も変化し、コンフリクト状況も変わってくると考えられる。また、通勤・通学、買い物、散歩といった目的別にも歩行速度は変化する [14]。

表 5.4: 状況別歩行者の歩行速度

| 状況         | 通勤・通学 | 行事・催物 | 住宅地内 | 買い物  | 散歩   |
|------------|-------|-------|------|------|------|
| 歩行速度 [m/s] | 1.61  | 1.349 | 1.50 | 1.13 | 1.00 |

そこで、状況別に歩行者の平均歩行速度を変化させ、歩行者の回避行動を比較した。  
歩行者の人数を 10 人と一定とし、歩行者の初期位置座標を 500 回変えて、その平均値を算出した。

## 結果と考察

結果を表 5.5 と図 5.5 に示す。

表 5.5: 平均歩行速度による回避行動

| 状況    | 歩行速度 [m/s] | 左右回避回数 | 加減速回数 | PS 侵入回数 |
|-------|------------|--------|-------|---------|
| 散歩    | 1.00       | 28.34  | 30.13 | 31.47   |
| 買い物   | 1.13       | 27.75  | 28.89 | 31.04   |
| 行事・催物 | 1.349      | 25.97  | 27.50 | 29.70   |
| 住宅地内  | 1.50       | 23.88  | 27.17 | 28.83   |
| 通勤・通学 | 1.61       | 22.05  | 25.98 | 27.79   |

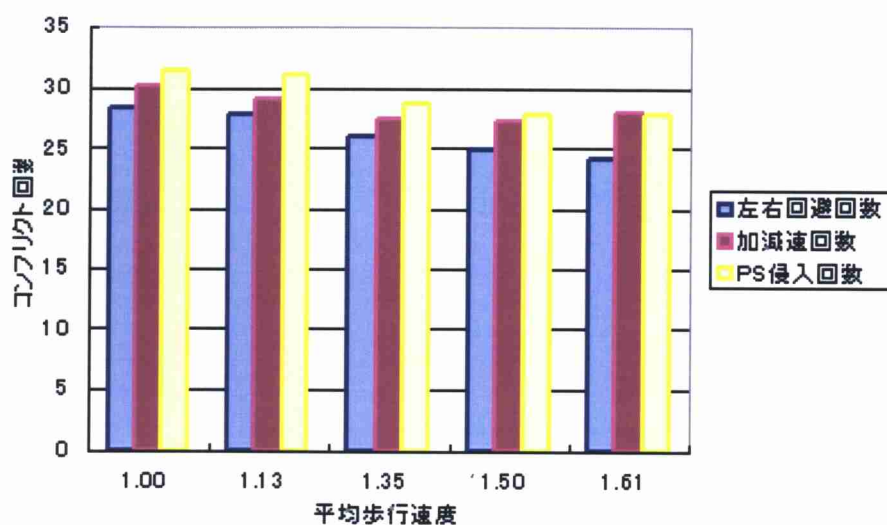


図 5.8: 平均歩行速度による歩行者の回避行動

図 5.8 に示すように、状況ごとに歩行者の平均速度を変化させても左右回避回数、加減速回数、PS 侵入回数は大きく変化しなかった。これは歩行者群全体の速度を変化させているため、全体の歩行交通流も変化し、速度が変化しても同じような回避挙動を示すためと考えられる。

ただし平均速度が上がると、コンフリクト回数がやや減少する現象は、速度が速いと回避挙動をしやすくなるためだと考えられる。

### 5.3 台車の混入

日常的に台車はよく見かける。そこで、歩行空間に台車を混入させてシミュレーションを実行し、歩行者の回避行動を分析した。台車の各パラメータは、歩行者実験で得られたもの(表 4.1, 表 4.2)を用いた。

歩行者の人数は 10 人と一定とし、歩行者の初期位置座標を 500 回変えて、その平均を算出した。

#### 結果と考察

結果を表 5.6 と図 5.9 に示す。

表 5.6: 台車混入による歩行者の回避行動

| 台車の台数 | 左右回避回数 | 加減速回数 | PS 侵入回数 |
|-------|--------|-------|---------|
| 0     | 22.46  | 27.39 | 27.32   |
| 1     | 26.72  | 29.98 | 29.57   |
| 2     | 28.19  | 30.93 | 32.77   |
| 3     | 29.64  | 32.07 | 34.75   |
| 4     | 31.47  | 36.91 | 39.09   |
| 5     | 34.12  | 37.97 | 42.33   |

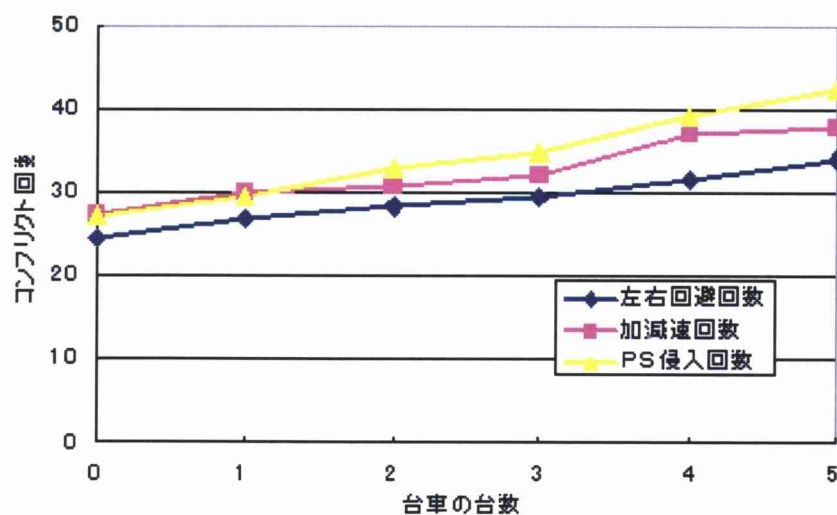


図 5.9: 台車混入による歩行者の回避行動

図 5.9 に示すように、台車が歩行空間に存在することによって歩行者の左右に回避したり加減速の回数が増え、そのため歩行者は希望歩行を保てなくなるということが言える。

## 5.4 障害物の混入

実際の歩道には電信柱や自転車の路上駐輪、お店の看板など歩行者にとって障害物となり得る静的物体が数多く存在する。

そこで、障害物を増やすことや、障害物の形態を変えたときの歩行者の回避挙動を分析した。歩行者の人数を 10 人と一定とし、歩行者の初期位置座標を 500 回変えて、その平均を算出した。

### 1. 障害物の数

歩行空間上の障害物の数を増加させていったときの歩行者の回避挙動を分析した。具体的には、図 5.10 のように、人体円と同じ直径の障害物を 1,2,3,4,5 個と増やした。

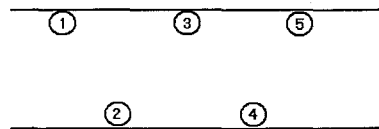


図 5.10: 障害物の数

### 結果と考察

結果を表 5.7 と図 5.11 に示す。

表 5.7: 障害物の数による歩行者の回避行動

| 障害物の数 | 左右回避回数 | 加減速回数 | PS 侵入回数 |
|-------|--------|-------|---------|
| 0     | 22.46  | 27.39 | 27.32   |
| 1     | 31.29  | 28.46 | 28.26   |
| 2     | 37.41  | 26.51 | 32.10   |
| 3     | 39.02  | 21.86 | 34.20   |
| 4     | 41.85  | 20.98 | 35.16   |
| 5     | 43.76  | 22.67 | 36.98   |

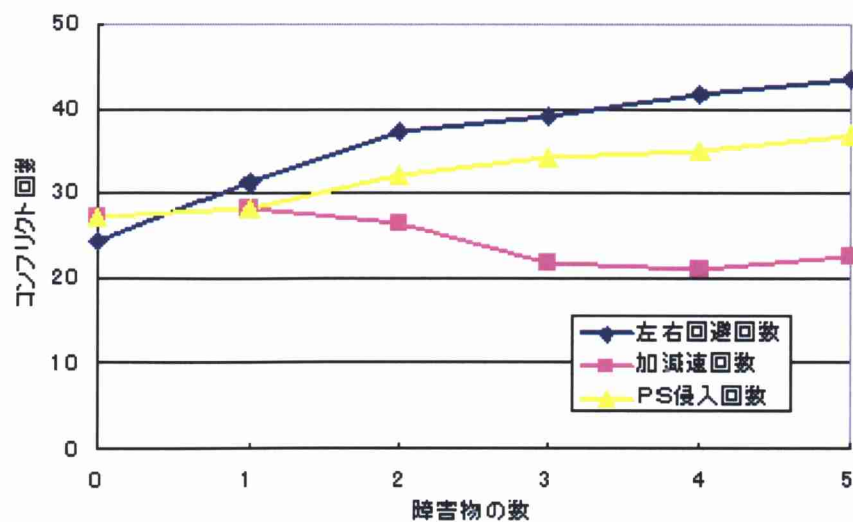


図 5.11: 障害物の数による歩行者の回避行動

図 5.11 に示すように、障害物が増えると、左右回避回数や PS 侵入回数は増えるものの加減速回数は減少している。これは図 5.10 のように歩道の両脇に障害物があることで、左右に回避する回数が増えるということが言える。

## 2. 障害物の場所

歩行空間上の障害物の位置を図 5.12 のように移動させたときの歩行者の回避行動を算出した。図 5.12 において、障害物 3 は歩道の中央になる。

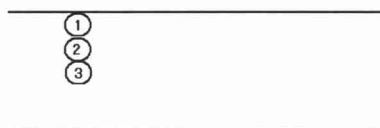


図 5.12: 障害物の位置

## 結果と考察

結果を表 5.8 と図 5.13 に示す。

表 5.8: 障害物の位置による歩行者の回避行動

| 障害物の位置 | 左右回避回数 | 加減速回数 | PS 侵入回数 |
|--------|--------|-------|---------|
| 1      | 22.46  | 28.22 | 28.05   |
| 2      | 31.02  | 37.57 | 33.18   |
| 3      | 33.69  | 30.63 | 33.33   |



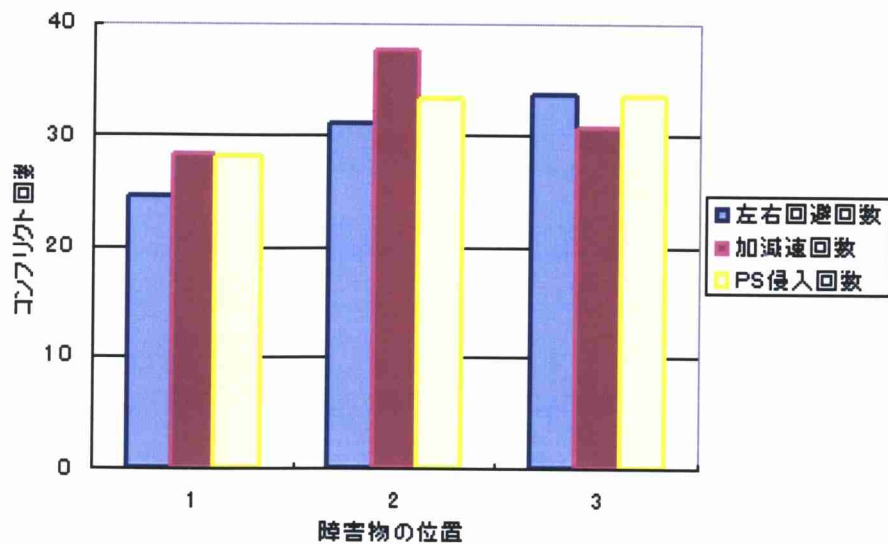


図 5.13: 障害物の位置による歩行者の回避行動

図 5.13 より、障害物 2 に対する歩行者の加減速回数は大きくなった。これは、障害物 2 の位置というのが幅員側 (図 5.12 の上側) に歩行者が回避する余裕のない中途半端な位置にあったためと考えられる。そのため結果的に障害物 2 は幅員を狭くする要因となり、歩行者は加減速することによって周囲との衝突も避けつつ、障害物を回避するという状況が多くなったと考えられる。

### 3. 障害物の形状

歩行空間に放置自転車を設置し、歩行者の回避行動を算出した。

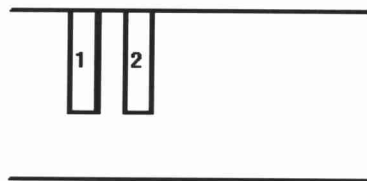


図 5.14: 放置自転車の位置

## 結果と考察

結果を表 5.9 と図 5.15 に示す。

表 5.9: 放置自転車 (障害物の形状) による歩行者の回避行動

| 障害物の台数 | 左右回避回数 | 加減速回数 | PS 侵入回数 |
|--------|--------|-------|---------|
| 0      | 22.46  | 27.39 | 28.32   |
| 1      | 43.33  | 51.57 | 61.70   |
| 2      | 45.19  | 54.95 | 87.98   |



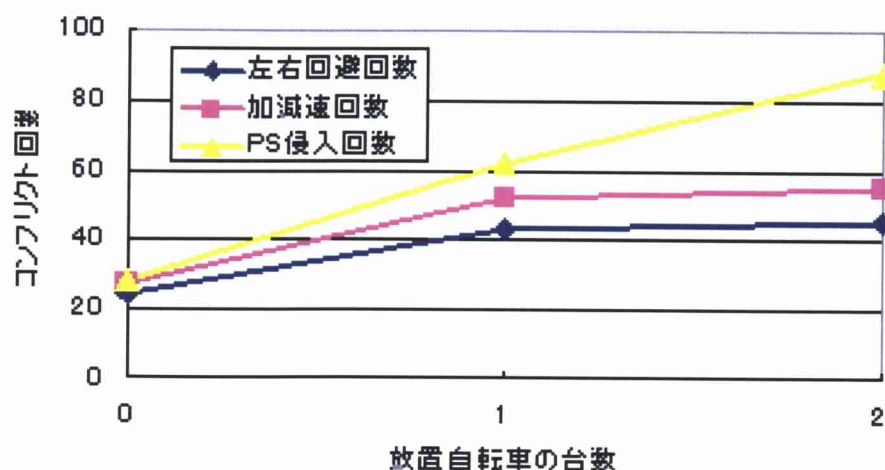


図 5.15: 放置自転車による歩行者の回避行動

図 5.15 より、放置自転車が 1 台あることにより、歩行者の回避挙動は大きく変わることがわかった。また、PS 侵入回数も多くなることから歩行者の放置自転車への不快感は大きいと言える。

以上より、障害物の位置・形状によって歩行者の挙動や不快感がどのように変化するのかが見て取れる。このように、シミュレーションを用いることにより、障害物となり得る静的物体が歩行空間に設置される上での検討や改善策を模索できるといえる。

## 5.5 歩行スペースの変化

雨天時、傘を使用することで 1 人あたりの歩行スペースは広くなり、歩行者の挙動も変わってくることが考えられる。そこで、傘の直径を人体円の直径サイズ (表 4.2) に見立てシミュレーションを実行し、雨天時における歩行者の挙動を分析した。

歩行者の人数を 10 人と一定とし、歩行者の初期位置座標を 500 回変えて、その平均を算出した。また傘の直径は 60cm とした。

### 結果と考察

結果を表 5.10 に示す。

表 5.10: 雨天時における歩行者の挙動

| 人体円 [cm] | 左右回避回数 | 加減速回数 | PS 侵入回数 |
|----------|--------|-------|---------|
| 40       | 22.46  | 27.39 | 27.32   |
| 60       | 21.84  | 48.91 | 82.13   |

表 5.10 より、人体円が 1.5 倍大きくなると、PS 侵入回数は 3 倍大きくなった。このことから、雨天時に歩行者はかなりの不快を感じるということになる。

## 5.6 幅員の変化

歩道における幅員は、歩道利用者の快適さを大きく左右する一因である。そこで、幅員を変化させたときの歩行者の挙動を分析した。

歩行者の人数を 10 人と一定とし、歩行者の初期位置座標を 500 回変えて、その平均を算出した。

### 結果と考察

結果を表 5.11 と図 5.16 に示す。

表 5.11: 幅員による歩行者の挙動

| 幅員 [m] | 左右回避回数 | 加減速回数  | PS 侵入回数 |
|--------|--------|--------|---------|
| 1.5    | 18.66  | 270.34 | 242.08  |
| 1.8    | 28.49  | 121.89 | 95.66   |
| 2.1    | 29.22  | 52.04  | 42.75   |
| 2.4    | 26.33  | 38.59  | 33.70   |
| 2.7    | 22.46  | 27.39  | 28.32   |

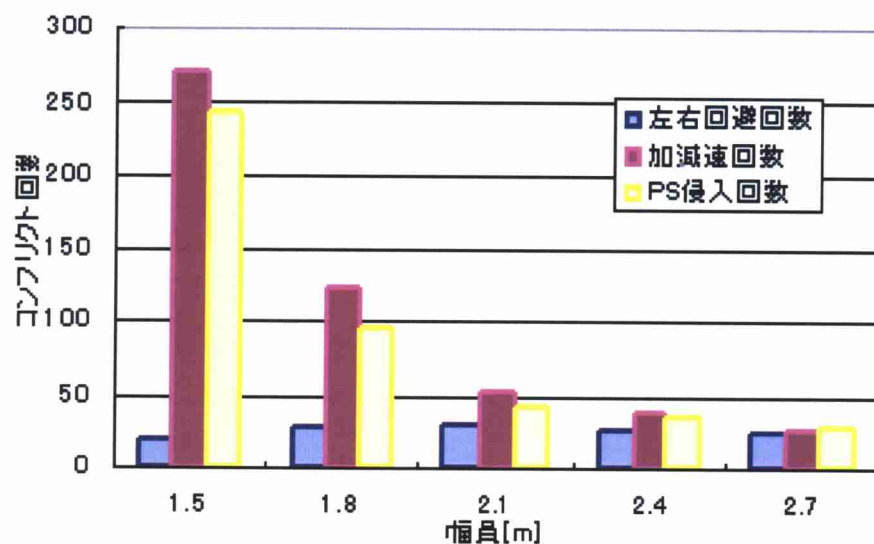


図 5.16: 幅員による歩行者挙動

図 5.16 より、幅員が大きいと歩行者は左右回避や加減速する必要がなく、幅員が狭いと歩行者は左右に回避する空間がなくなり、加減速することによって歩行空間を確保しようとするということが言える。

## 5.7 まとめ

本章では、第4章で構築したシミュレーションを用いることにより交通モードの存在する歩行空間を分析し評価した。シミュレーションで出力される歩行者の挙動パラメータを用いることにより、交通モードに対する一般歩行者の意識や歩行空間の検討・改善策を模索できることがわかった。

## 第6章 歩行空間のあり方に関する考察

さらに本研究では、様々な歩行空間における障害物・高齢者・車椅子・台車・自転車や、雨天時における障害物や台車の影響を算出し、混合交通状況下における各交通モードや歩行空間のあり方を検討した(図6.1)。

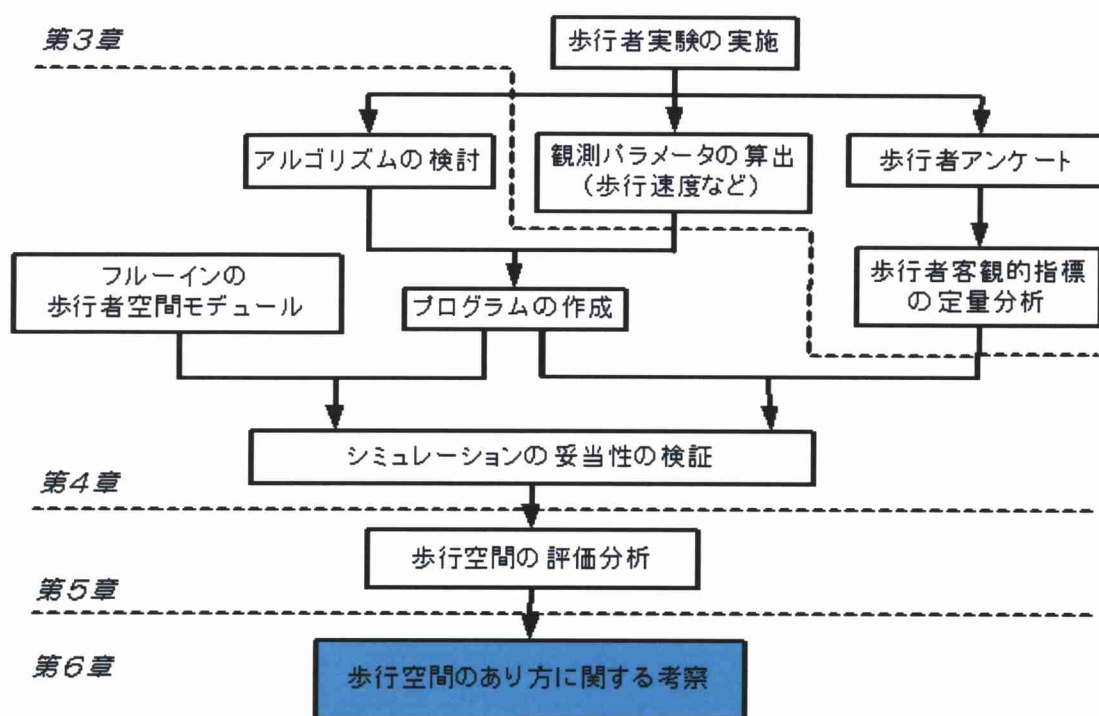


図 6.1: 第6章の位置づけ

具体的には、シミュレーションにより出力される歩行者のPS侵入回数をフルーインのサービス水準(4.3.2)にあてはめることにより考察した。

## 6.1 交通モードのあり方の考察

### 6.1.1 高齢者

一般歩行者の人数と幅員を変化させることにより、歩行空間の状態(密度)を変え、その空間において高齢者の数を増やしていったときのPS侵入回数およびフルーインのサービス水準(LOS)を求めた。

| 高齢者の数 | 左右回避回数 | 加減速回数 | PS 侵入回数 | LOS |
|-------|--------|-------|---------|-----|
| 0     | 33.23  | 39.21 | 49.06   | C   |
| 1     | 36.75  | 40.48 | 66.69   | C   |
| 2     | 41.05  | 46.40 | 73.95   | C   |
| 3     | 45.50  | 46.56 | 78.02   | C   |
| 4     | 48.99  | 49.40 | 83.36   | D   |
| 5     | 52.36  | 49.74 | 88.15   | D   |

表 6.1: 一般歩行者 15 名・幅員 2.7m 下における高齢者の影響分析

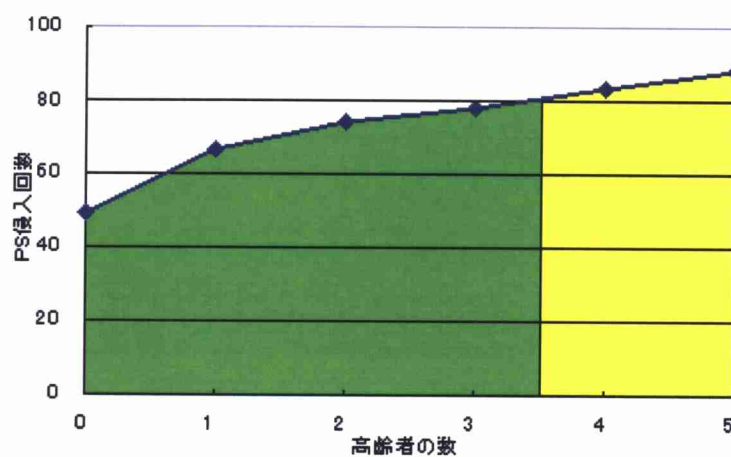


図 6.2: 一般歩行者 15 名・幅員 2.7m 下における高齢者の影響分析

| 高齢者の数 | 左右回避回数 | 加減速回数 | PS 侵入回数 | LOS |
|-------|--------|-------|---------|-----|
| 0     | 39.16  | 45.99 | 76.02   | C   |
| 1     | 43.24  | 48.72 | 86.66   | D   |
| 2     | 47.38  | 49.63 | 91.60   | D   |
| 3     | 50.68  | 52.79 | 96.11   | D   |
| 4     | 55.31  | 55.90 | 98.11   | D   |
| 5     | 58.20  | 56.77 | 103.21  | D   |

表 6.2: 一般歩行者 20 名、幅員 2.7m 下における高齢者の影響分析

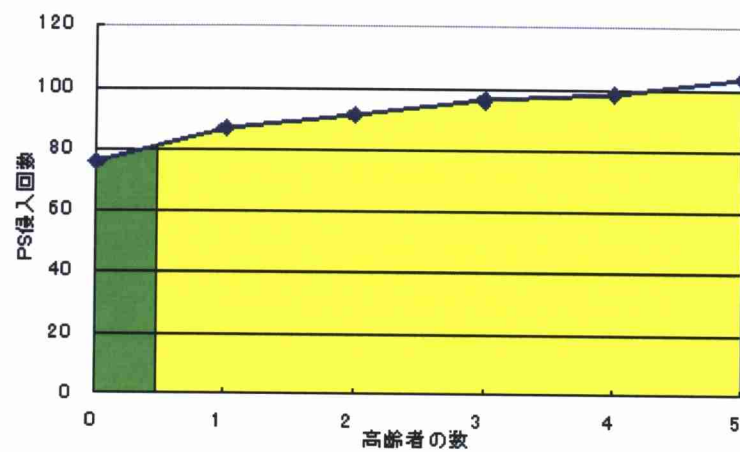


図 6.3: 一般歩行者 20 名、幅員 2.7m 下における高齢者の影響分析

| 高齢者の数 | 左右回避回数 | 加減速回数 | PS 侵入回数 | LOS |
|-------|--------|-------|---------|-----|
| 0     | 27.02  | 38.80 | 33.39   | B   |
| 1     | 30.50  | 42.91 | 53.07   | C   |
| 2     | 36.00  | 48.06 | 59.67   | C   |
| 3     | 40.10  | 52.20 | 67.94   | C   |
| 4     | 44.17  | 59.19 | 72.65   | C   |
| 5     | 48.04  | 60.73 | 79.35   | D   |

表 6.3: 一般歩行者 10 名、幅員 2.4m 下における高齢者の影響分析

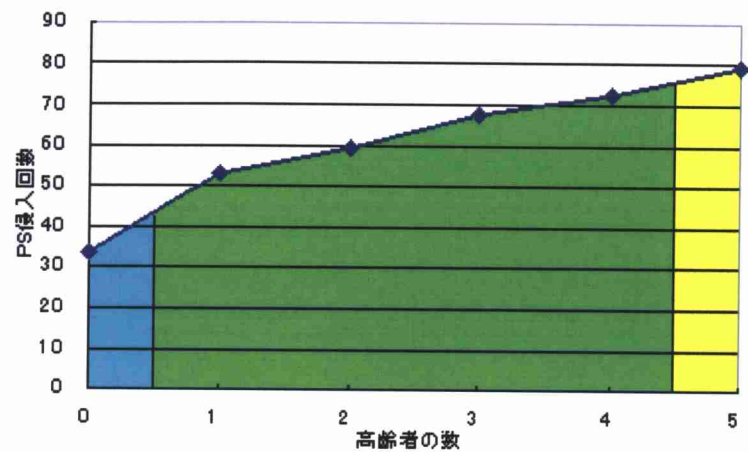


図 6.4: 一般歩行者 10 名、幅員 2.4m 下における高齢者の影響分析

| 高齢者の数 | 左右回避回数 | 加減速回数 | PS 侵入回数 | LOS |
|-------|--------|-------|---------|-----|
| 0     | 35.20  | 51.50 | 63.68   | C   |
| 1     | 40.10  | 53.28 | 82.96   | D   |
| 2     | 43.75  | 57.58 | 92.09   | D   |
| 3     | 48.89  | 59.67 | 98.01   | D   |
| 4     | 52.13  | 63.21 | 104.64  | D   |
| 5     | 55.62  | 64.62 | 112.85  | D   |

表 6.4: 一般歩行者 15 名、幅員 2.4m 下における高齢者の影響分析

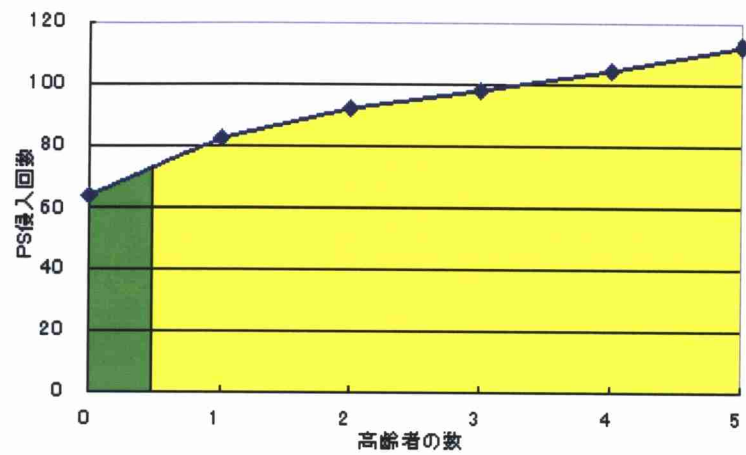


図 6.5: 一般歩行者 15 名、幅員 2.4m 下における高齢者の影響分析



| 高齢者の数 | 左右回避回数 | 加減速回数 | PS 侵入回数 | LOS |
|-------|--------|-------|---------|-----|
| 0     | 43.66  | 60.02 | 99.40   | D   |
| 1     | 45.93  | 62.73 | 117.28  | D   |
| 2     | 50.08  | 62.60 | 125.69  | D   |
| 3     | 54.81  | 66.13 | 135.23  | D   |
| 4     | 58.70  | 67.78 | 140.63  | D   |
| 5     | 61.58  | 69.29 | 145.44  | D   |

表 6.5: 一般歩行者 20 名、幅員 2.4m 下における高齢者の影響分析

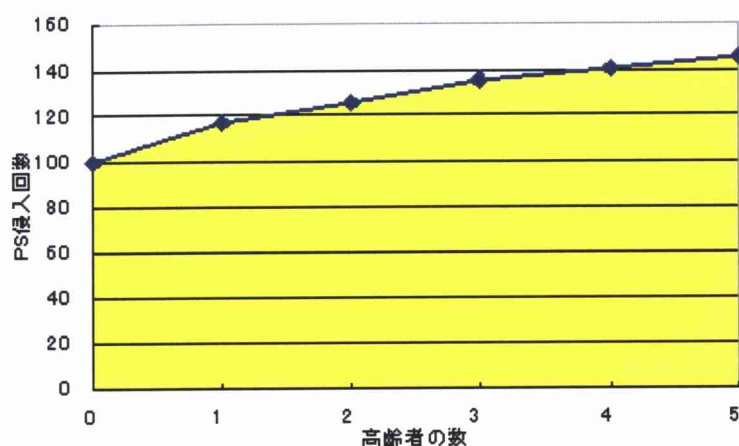


図 6.6: 一般歩行者 20 名、幅員 2.4m 下における高齢者の影響分析

## 考察

歩行空間の密度によって高齢者の人数による影響は変わってくることがわかった。

特に図 6.4 の一般歩行者 10 名・幅員 2.4m の状況下では、比較的快適であった歩行空間が、高齢者が 1 名混入するだけでサービス水準は低下してしまうということが見て取れる。

また、図 6.6 に示すように、高齢者の有無にかかわらずサービス水準が *D* のランク下では、一般歩行者にとって歩行空間は極めて快適ではなく、高齢者にとっては危険が生じる可能性が高いといえる。このことから、図 6.6 のような歩行空間の密度が  $0.77[\text{人}/\text{m}^2]$  の場所では、高齢者を中心とした政策の導入を検討するなどの対策が必要であるといえる。

### 6.1.2 車椅子

一般歩行者の人数と幅員を変化させることにより、歩行空間の状態(密度)を変え、その空間において車椅子の数を増やしていったときのPS侵入回数を求めた。

| 車椅子の数 | 左右回避回数 | 加減速回数 | PS 侵入回数 | LOS |
|-------|--------|-------|---------|-----|
| 0     | 33.23  | 39.21 | 49.06   | C   |
| 1     | 36.29  | 40.47 | 67.30   | C   |
| 2     | 40.14  | 47.00 | 76.60   | C   |
| 3     | 44.58  | 47.26 | 79.19   | D   |
| 4     | 47.74  | 50.18 | 87.13   | D   |
| 5     | 51.39  | 52.11 | 94.65   | D   |

表 6.6: 一般歩行者 15 名・幅員 2.7m 下における車椅子の影響分析

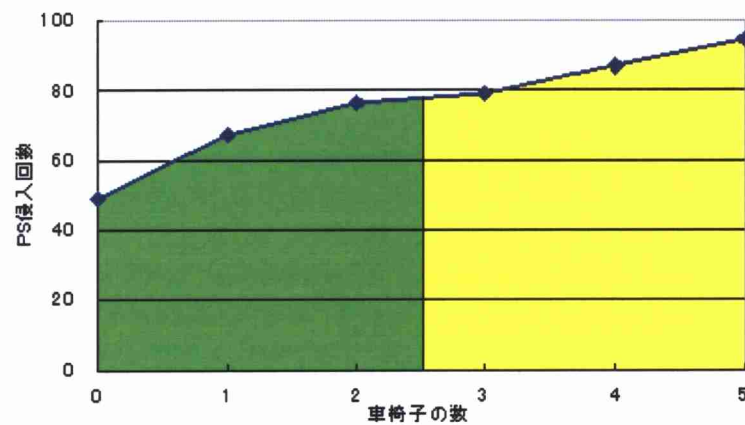


図 6.7: 一般歩行者 15 名・幅員 2.7m 下における車椅子の影響分析

| 車椅子の数 | 左右回避回数 | 加減速回数 | PS 侵入回数 | LOS |
|-------|--------|-------|---------|-----|
| 0     | 39.16  | 45.99 | 76.02   | C   |
| 1     | 42.97  | 49.01 | 86.64   | D   |
| 2     | 46.57  | 50.22 | 90.08   | D   |
| 3     | 50.91  | 52.76 | 92.45   | D   |
| 4     | 53.79  | 56.79 | 95.57   | D   |
| 5     | 56.63  | 58.43 | 100.74  | D   |

表 6.7: 一般歩行者 20 名・幅員 2.7m 下における車椅子の影響分析

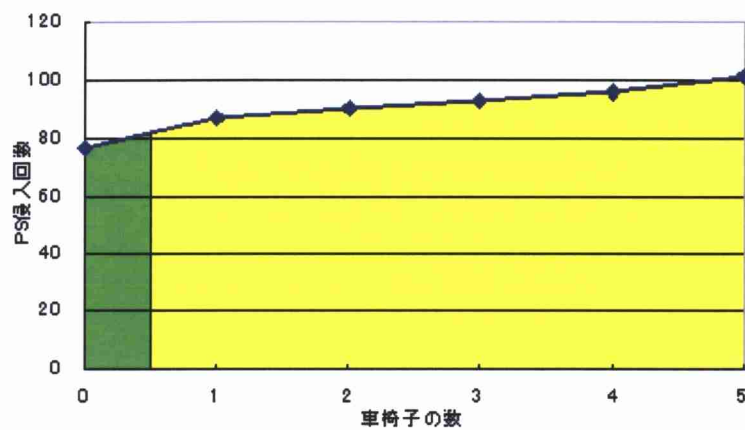


図 6.8: 一般歩行者 20 名・幅員 2.7m 下における車椅子の影響分析

| 車椅子の数 | 左右回避回数 | 加減速回数 | PS 侵入回数 | LOS |
|-------|--------|-------|---------|-----|
| 0     | 27.02  | 38.80 | 33.39   | B   |
| 1     | 30.23  | 42.91 | 54.45   | C   |
| 2     | 35.65  | 48.39 | 60.03   | C   |
| 3     | 40.10  | 52.20 | 67.94   | C   |
| 4     | 43.03  | 59.73 | 76.05   | C   |
| 5     | 47.16  | 62.49 | 84.16   | D   |

表 6.8: 一般歩行者 10 名・幅員 2.4m 下における車椅子の影響分析

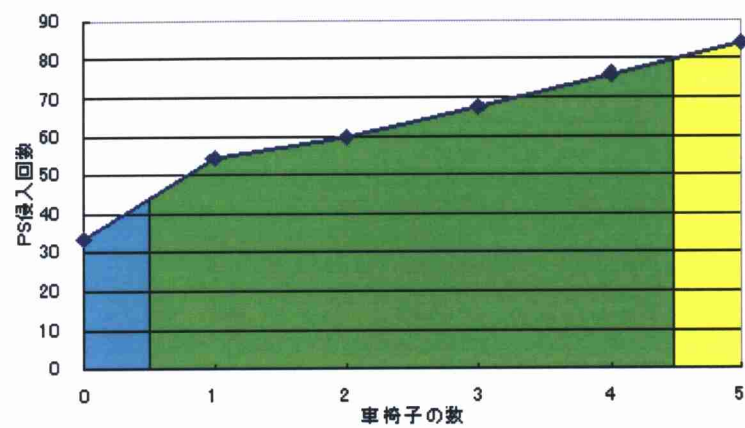


図 6.9: 一般歩行者 10 名・幅員 2.4m 下における車椅子の影響分析

| 車椅子の数 | 左右回避回数 | 加減速回数 | PS 侵入回数 | LOS |
|-------|--------|-------|---------|-----|
| 0     | 35.20  | 51.50 | 63.68   | C   |
| 1     | 39.61  | 53.22 | 83.75   | D   |
| 2     | 42.62  | 57.66 | 94.49   | D   |
| 3     | 47.60  | 61.29 | 101.65  | D   |
| 4     | 50.90  | 64.64 | 108.18  | D   |
| 5     | 54.95  | 67.89 | 116.99  | D   |

表 6.9: 一般歩行者 15 名・幅員 2.4m 下における車椅子の影響分析

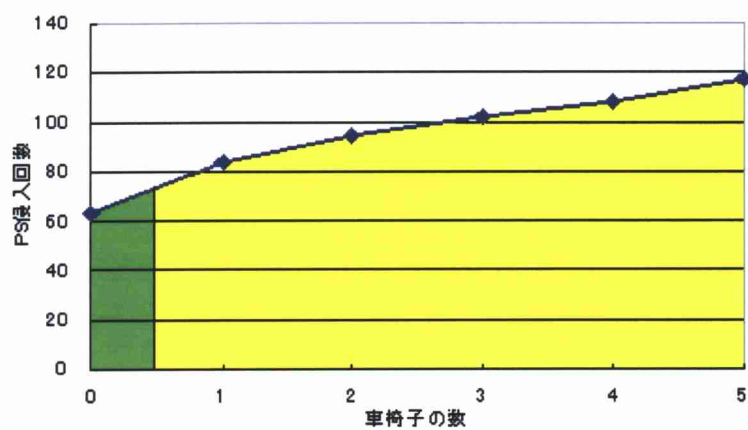


図 6.10: 一般歩行者 15 名・幅員 2.4m 下における車椅子の影響分析

| 車椅子の数 | 左右回避回数 | 加減速回数 | PS 侵入回数 | LOS |
|-------|--------|-------|---------|-----|
| 0     | 43.66  | 60.02 | 99.40   | D   |
| 1     | 45.54  | 63.69 | 118.01  | D   |
| 2     | 49.42  | 65.94 | 128.50  | D   |
| 3     | 53.63  | 67.07 | 137.84  | D   |
| 4     | 57.34  | 68.13 | 142.97  | D   |
| 5     | 59.66  | 71.67 | 156.86  | E   |

表 6.10: 一般歩行者 20 名・幅員 2.4m 下における車椅子の影響分析

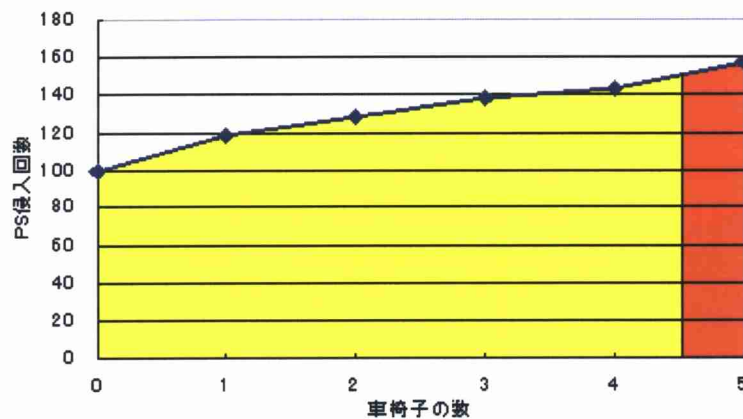


図 6.11: 一般歩行者 20 名・幅員 2.4m 下における車椅子の影響分析

## 考察

歩行空間の密度によって車椅子の台数による影響は変わってくることがわかった。

図 6.9 の一般歩行者 10 名・幅員 2.4m の状況下では、車椅子が 1 名混入するだけでサービス水準は低下してしまうということが見て取れる。

また、図 6.11 に示すように、車椅子が 5 台になるとサービス水準が E ランクにまで下がってしまうことがわかる。このことは一般歩行者にとって歩行空間は極めて快適ではなく、車椅子利用者にとっても危険が生じる可能性が高い状態であるといえる。そのため、図 6.11 のような歩行空間の密度が  $0.77[\text{人}/\text{m}^2]$  の場所では、車椅子利用を考慮した政策等が必要であるといえる。

### 6.1.3 台車

一般歩行者の人数と幅員を変化させることにより、歩行空間の状態(密度)を変え、その空間において台車の数を増やしていったときのPS侵入回数を求めた。

| 台車の数 | 左右回避回数 | 加減速回数 | PS 侵入回数 | LOS |
|------|--------|-------|---------|-----|
| 0    | 33.23  | 39.21 | 49.06   | C   |
| 1    | 34.13  | 39.59 | 61.18   | C   |
| 2    | 35.34  | 40.55 | 64.95   | C   |
| 3    | 37.97  | 41.34 | 65.97   | C   |
| 4    | 38.74  | 41.97 | 68.61   | C   |
| 5    | 40.47  | 42.89 | 71.39   | C   |

表 6.11: 一般歩行者 15 名・幅員 2.7m 下における台車の影響分析

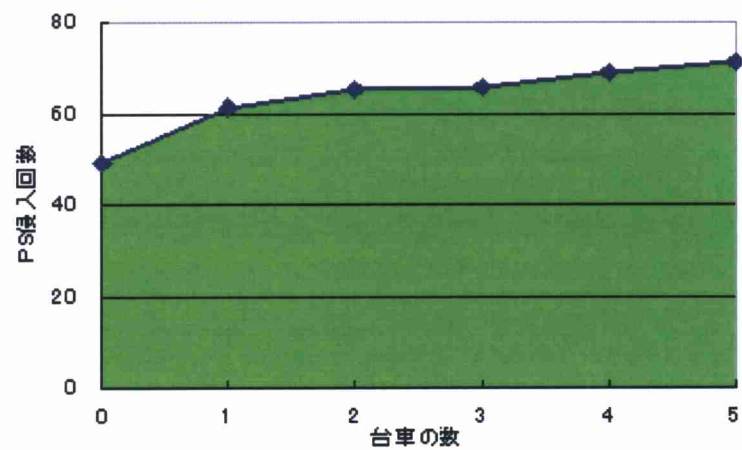


図 6.12: 一般歩行者 15 名・幅員 2.7m 下における台車の影響分析

| 台車の数 | 左右回避回数 | 加減速回数 | PS 侵入回数 | LOS |
|------|--------|-------|---------|-----|
| 0    | 39.16  | 45.99 | 76.02   | C   |
| 1    | 40.78  | 47.84 | 90.90   | D   |
| 2    | 42.08  | 47.92 | 94.05   | D   |
| 3    | 43.89  | 49.02 | 95.90   | D   |
| 4    | 44.37  | 51.29 | 97.98   | D   |
| 5    | 45.60  | 51.68 | 101.16  | D   |

表 6.12: 一般歩行者 20 名・幅員 2.7m 下における台車の影響分析

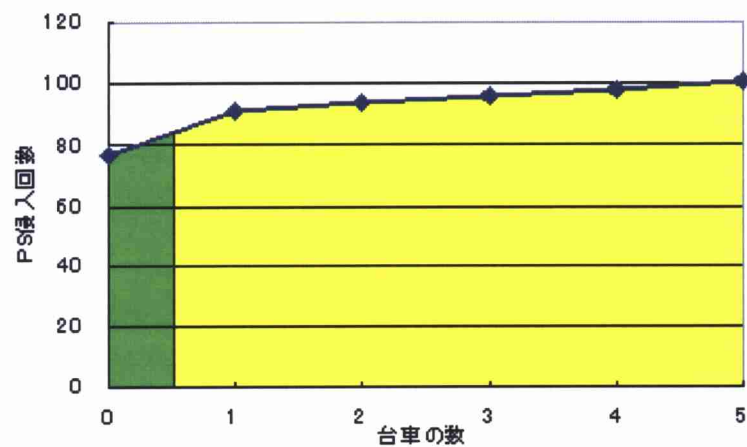


図 6.13: 一般歩行者 20 名・幅員 2.7m 下における台車の影響分析



| 台車の数 | 左右回避回数 | 加減速回数 | PS 侵入回数 | LOS |
|------|--------|-------|---------|-----|
| 0    | 35.20  | 51.50 | 63.68   | C   |
| 1    | 36.79  | 52.48 | 77.69   | C   |
| 2    | 37.55  | 52.77 | 81.37   | D   |
| 3    | 39.71  | 53.26 | 84.56   | D   |
| 4    | 41.43  | 54.62 | 86.25   | D   |
| 5    | 42.95  | 55.76 | 90.63   | D   |

表 6.13: 一般歩行者 15 名・幅員 2.4m 下における台車の影響分析

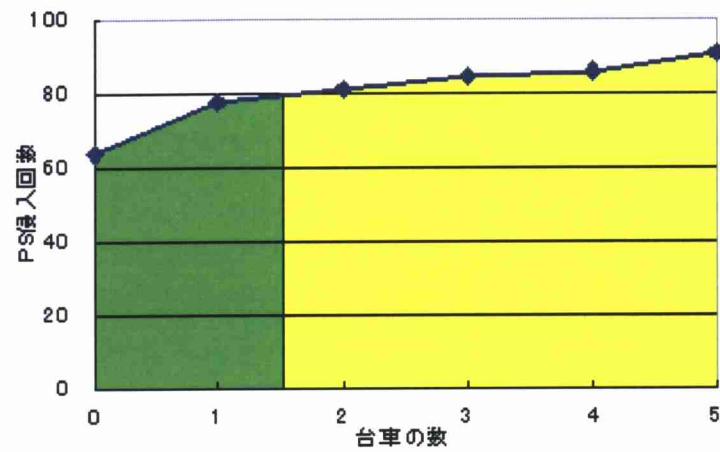


図 6.14: 一般歩行者 15 名・幅員 2.4m 下における台車の影響分析

| 台車の数 | 左右回避回数 | 加減速回数 | PS 侵入回数 | LOS |
|------|--------|-------|---------|-----|
| 0    | 43.66  | 60.02 | 99.40   | D   |
| 1    | 43.82  | 60.96 | 114.14  | D   |
| 2    | 44.47  | 61.45 | 118.97  | D   |
| 3    | 46.36  | 62.36 | 121.39  | D   |
| 4    | 47.86  | 63.05 | 124.13  | D   |

表 6.14: 一般歩行者 20 名・幅員 2.4m 下における台車の影響分析

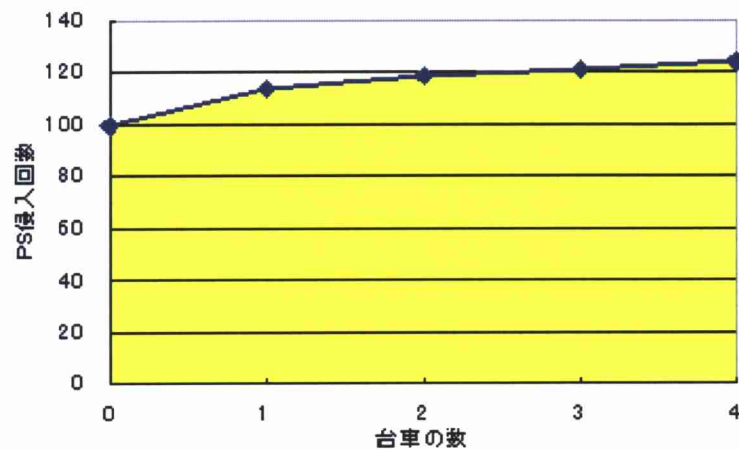


図 6.15: 一般歩行者 20 名・幅員 2.4m 下における台車の影響分析

## 考察

歩行空間の密度によって台車の台数による影響は変わってくることがわかった。

特に図 6.14 の一般歩行者 15 名・幅員 2.4m の状況下では、台車が 2 台に増えるとサービス水準は低下してしまうということが見て取れる。

また、サービス水準 *D* のもとでは、一般歩行者にとって歩行空間は快適でないと考えられるため、そのような場所では台車の数を制限するなどの規制や、歩行者のみの歩行空間でも利用者が快適と感じられるような政策が必要であるといえる。

6.1.4 自転車

一般歩行者の人数と幅員を変化させることにより、歩行空間の状態(密度)を変え、その空間において自転車の数を増やしていったときのPS侵入回数を求めた。

| 自転車の数 | 左右回避回数 | 加減速回数 | PS 侵入回数 | LOS |
|-------|--------|-------|---------|-----|
| 0     | 33.23  | 39.21 | 49.06   | C   |
| 1     | 35.64  | 40.26 | 67.36   | C   |
| 2     | 37.03  | 45.54 | 77.00   | C   |
| 3     | 38.79  | 46.73 | 85.92   | D   |
| 4     | 40.93  | 47.37 | 97.04   | D   |
| 5     | 43.14  | 48.71 | 103.05  | D   |

表 6.15: 一般歩行者 15 名・幅員 2.7m 下における自転車の影響分析

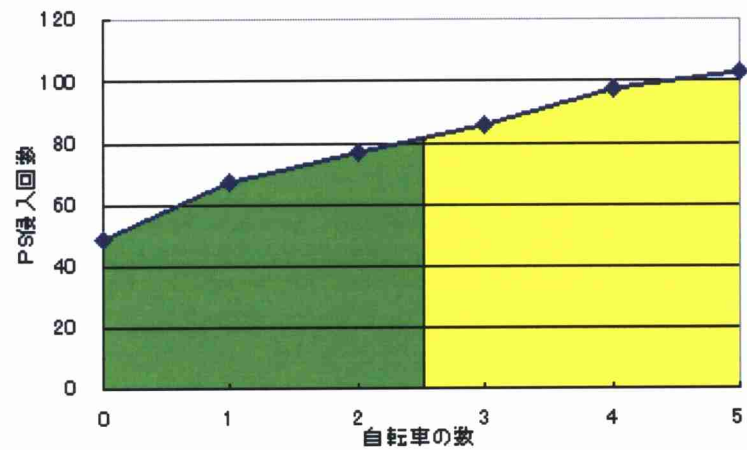


図 6.16: 一般歩行者 15 名・幅員 2.7m 下における自転車の影響分析

| 自転車の数 | 左右回避回数 | 加減速回数 | PS 侵入回数 | LOS |
|-------|--------|-------|---------|-----|
| 0     | 39.16  | 45.99 | 76.02   | C   |
| 1     | 41.64  | 47.93 | 86.89   | D   |
| 2     | 42.47  | 48.39 | 96.25   | D   |
| 3     | 45.41  | 50.40 | 99.33   | D   |
| 4     | 46.06  | 51.75 | 102.16  | D   |
| 5     | 47.06  | 54.48 | 111.20  | D   |

表 6.16: 一般歩行者 20 名・幅員 2.7m 下における自転車の影響分析

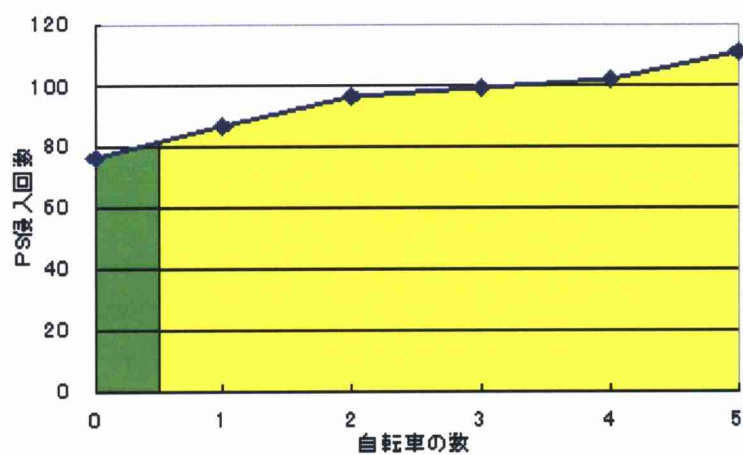


図 6.17: 一般歩行者 20 名・幅員 2.7m 下における自転車の影響分析

| 自転車の数 | 左右回避回数 | 加減速回数 | PS 侵入回数 | LOS |
|-------|--------|-------|---------|-----|
| 0     | 27.02  | 38.80 | 33.39   | B   |
| 1     | 28.72  | 42.58 | 49.14   | C   |
| 2     | 32.25  | 46.95 | 59.90   | C   |
| 3     | 34.71  | 49.36 | 69.37   | C   |
| 4     | 36.99  | 53.32 | 78.35   | D   |
| 5     | 39.45  | 53.74 | 84.46   | D   |

表 6.17: 一般歩行者 10 名・幅員 2.4m 下における自転車の影響分析

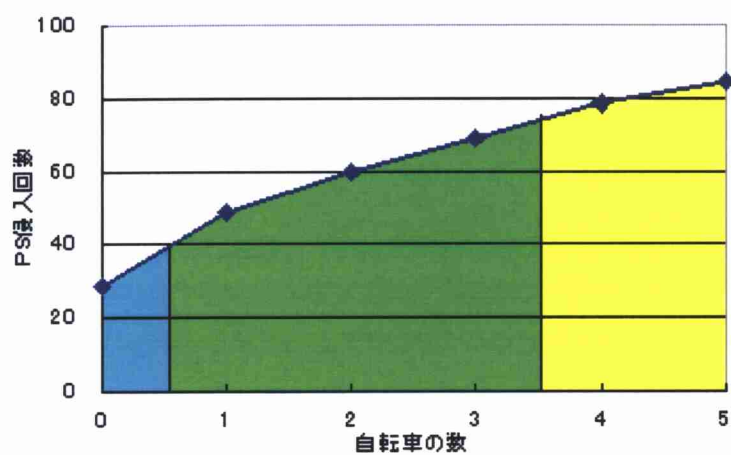


図 6.18: 一般歩行者 10 名・幅員 2.4m 下における自転車の影響分析

| 自転車の数 | 左右回避回数 | 加減速回数 | PS 侵入回数 | LOS |
|-------|--------|-------|---------|-----|
| 0     | 35.20  | 51.50 | 63.68   | C   |
| 1     | 38.56  | 53.42 | 82.55   | D   |
| 2     | 39.94  | 57.95 | 93.49   | D   |
| 3     | 41.51  | 60.01 | 106.08  | D   |
| 4     | 43.30  | 61.75 | 116.97  | D   |
| 5     | 45.72  | 62.69 | 126.16  | D   |

表 6.18: 一般歩行者 15 名・幅員 2.4m 下における自転車の影響分析

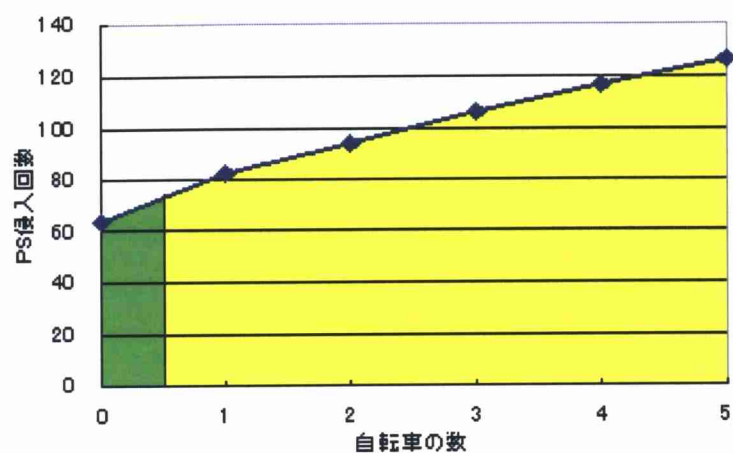


図 6.19: 一般歩行者 15 名・幅員 2.4m 下における自転車の影響分析

| 自転車の数 | 左右回避回数 | 加減速回数 | PS 侵入回数 | LOS |
|-------|--------|-------|---------|-----|
| 0     | 43.66  | 60.02 | 99.40   | D   |
| 1     | 44.92  | 61.38 | 118.66  | D   |
| 2     | 46.21  | 65.13 | 129.94  | D   |
| 3     | 48.93  | 66.41 | 139.56  | D   |
| 4     | 49.32  | 71.65 | 153.22  | E   |
| 5     | 51.09  | 72.73 | 162.16  | E   |

表 6.19: 一般歩行者 20 名・幅員 2.4m 下における自転車の影響分析

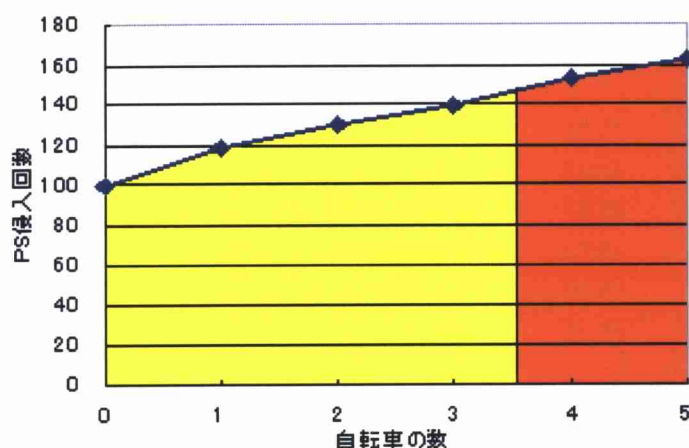


図 6.20: 一般歩行者 20 名・幅員 2.4m 下における自転車の影響分析

## 考察

歩行空間の密度によって自転車の台数による影響は変わってくることがわかった。

特に図 6.20 のように自転車が 4 台に増えることにより、サービス水準は *E* ランクに低下してしまうことが見て取れる。このような歩行空間の状況下では、一般歩行者にとって歩行空間は快適ではなく、かなりの危険を感じる状態であるといえる。そのため、このような場所では自転車の進入規制などの政策を早急に行なう必要があるといえる。

### 6.1.5 障害物

一般歩行者の人数と幅員を変化させることにより、歩行空間の状態(密度)を変え、その空間において障害物の数を増やしていったときのPS侵入回数を求めた。

障害物は、図 6.21 のように増加させていった。

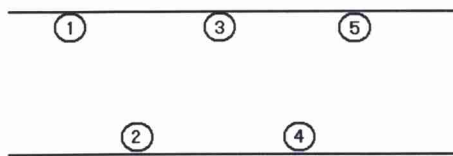


図 6.21: 障害物の位置

| 障害物の数 | 左右回避回数 | 加減速回数 | PS 侵入回数 | LOS |
|-------|--------|-------|---------|-----|
| 0     | 33.23  | 39.21 | 49.06   | C   |
| 1     | 37.89  | 38.52 | 61.91   | C   |
| 2     | 44.02  | 36.66 | 63.93   | C   |
| 3     | 46.24  | 36.52 | 67.47   | C   |
| 4     | 50.00  | 34.38 | 69.46   | C   |
| 5     | 50.45  | 33.47 | 70.93   | C   |

表 6.20: 一般歩行者 15 名・幅員 2.7m 下における障害物の影響分析

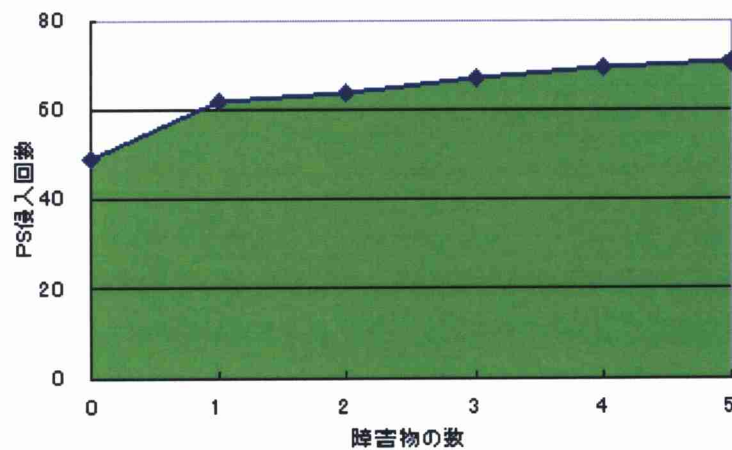


図 6.22: 一般歩行者 15 名・幅員 2.7m 下における障害物の影響分析



| 障害物の数 | 左右回避回数 | 加減速回数 | PS 侵入回数 | LOS |
|-------|--------|-------|---------|-----|
| 0     | 39.16  | 45.99 | 76.02   | C   |
| 1     | 44.42  | 46.35 | 91.88   | D   |
| 2     | 49.95  | 46.60 | 94.95   | D   |
| 3     | 52.66  | 47.17 | 97.75   | D   |
| 4     | 56.54  | 47.34 | 99.30   | D   |
| 5     | 57.25  | 47.89 | 101.29  | D   |

表 6.21: 一般歩行者 20 名・幅員 2.7m 下における障害物の影響分析

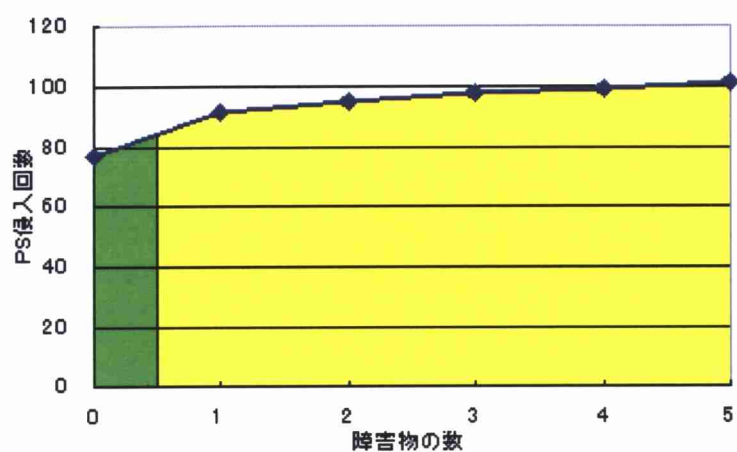


図 6.23: 一般歩行者 20 名・幅員 2.7m 下における障害物の影響分析

| 障害物の数 | 左右回避回数 | 加減速回数 | PS 侵入回数 | LOS |
|-------|--------|-------|---------|-----|
| 0     | 27.02  | 38.80 | 33.39   | B   |
| 1     | 30.69  | 38.99 | 39.32   | C   |
| 2     | 32.71  | 39.80 | 42.30   | C   |
| 3     | 34.66  | 40.26 | 43.39   | C   |
| 4     | 36.50  | 40.99 | 44.28   | C   |
| 5     | 37.75  | 41.81 | 45.28   | C   |

表 6.22: 一般歩行者 10 名・幅員 2.4m 下における障害物の影響分析

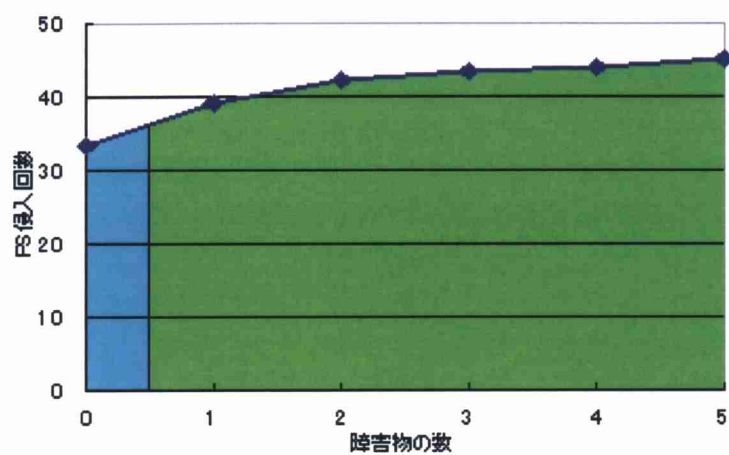


図 6.24: 一般歩行者 10 名・幅員 2.4m 下における障害物の影響分析

| 障害物の数 | 左右回避回数 | 加減速回数 | PS 侵入回数 | LOS |
|-------|--------|-------|---------|-----|
| 0     | 35.20  | 51.50 | 63.68   | C   |
| 1     | 36.56  | 51.56 | 76.50   | C   |
| 2     | 42.54  | 51.77 | 79.86   | D   |
| 3     | 44.33  | 52.50 | 81.70   | D   |
| 4     | 46.42  | 53.48 | 84.87   | D   |
| 5     | 46.83  | 53.87 | 86.29   | D   |

表 6.23: 一般歩行者 15 名・幅員 2.4m 下における障害物の影響分析

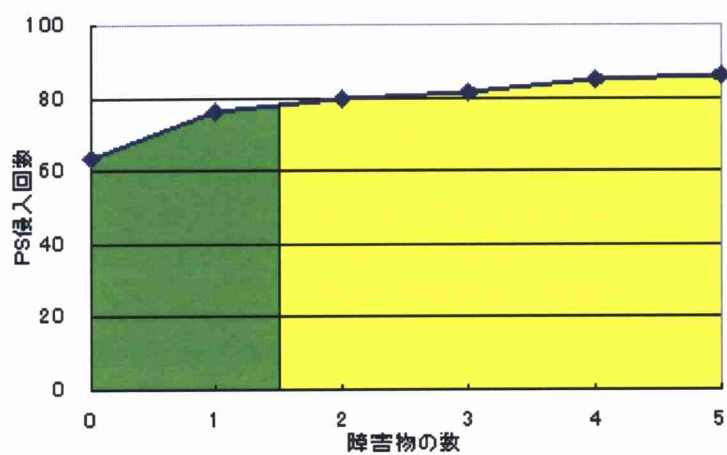


図 6.25: 一般歩行者 15 名・幅員 2.4m 下における障害物の影響分析

| 障害物の数 | 左右回避回数 | 加減速回数 | PS 侵入回数 | LOS |
|-------|--------|-------|---------|-----|
| 0     | 43.66  | 60.02 | 99.40   | D   |
| 1     | 44.01  | 60.00 | 112.90  | D   |
| 2     | 50.41  | 59.91 | 119.04  | D   |
| 3     | 51.53  | 59.62 | 120.13  | D   |
| 4     | 52.74  | 59.59 | 121.81  | D   |
| 5     | 53.05  | 58.99 | 123.77  | D   |

表 6.24: 一般歩行者 20 名・幅員 2.4m 下における障害物の影響分析

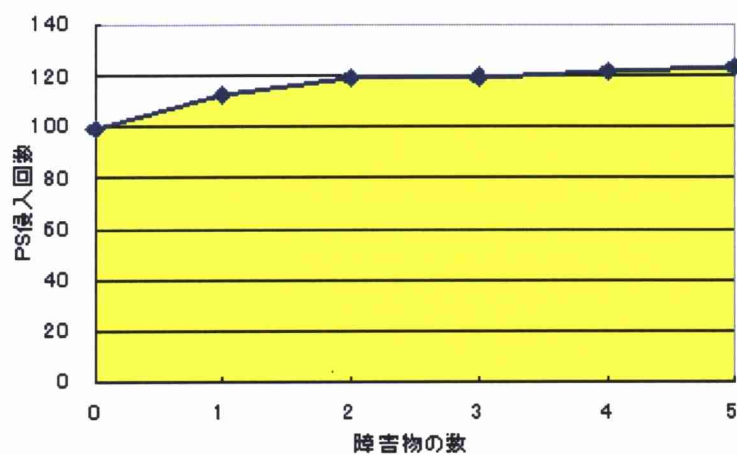


図 6.26: 一般歩行者 20 名・幅員 2.4m 下における障害物の影響分析

## 考察

歩行空間の密度によって障害物の数による影響は変わってくることがわかった。

このように、各歩行空間の状況下における障害物の影響を分析することにより、歩行空間において障害となり得る物体の設置の有無の判断や検討項目を模索できると思われる。

### 6.1.6 雨天時における障害物・台車のあり方

傘の直径を人体円に見立て、雨天時における障害物や台車の影響を PS 侵入回数およびフルーインのサービス水準を求めることにより分析した。

| 障害物の数 | 左右回避回数 | 加減速回数 | PS 侵入回数 | LOS |
|-------|--------|-------|---------|-----|
| 0     | 35.31  | 68.51 | 152.44  | E   |
| 1     | 39.29  | 68.11 | 164.88  | E   |
| 2     | 44.99  | 67.90 | 184.18  | E   |
| 3     | 46.25  | 67.39 | 189.45  | E   |
| 4     | 47.50  | 64.30 | 201.16  | E   |
| 5     | 48.16  | 63.35 | 234.66  | E   |

表 6.25: 雨天時における障害物の影響分析

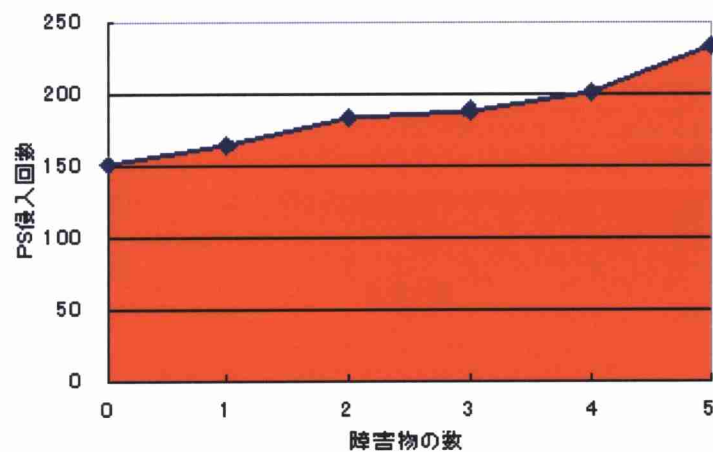


図 6.27: 雨天時における障害物の影響分析

| 台車の数 | 左右回避回数 | 加減速回数 | PS 侵入回数 | LOS |
|------|--------|-------|---------|-----|
| 0    | 35.31  | 68.51 | 152.44  | E   |
| 1    | 35.82  | 71.46 | 159.57  | E   |
| 2    | 37.44  | 69.41 | 166.09  | E   |
| 3    | 39.30  | 70.69 | 177.10  | E   |
| 4    | 39.75  | 71.33 | 186.70  | E   |
| 5    | 40.77  | 73.53 | 196.07  | E   |

表 6.26: 雨天時における台車の影響分析

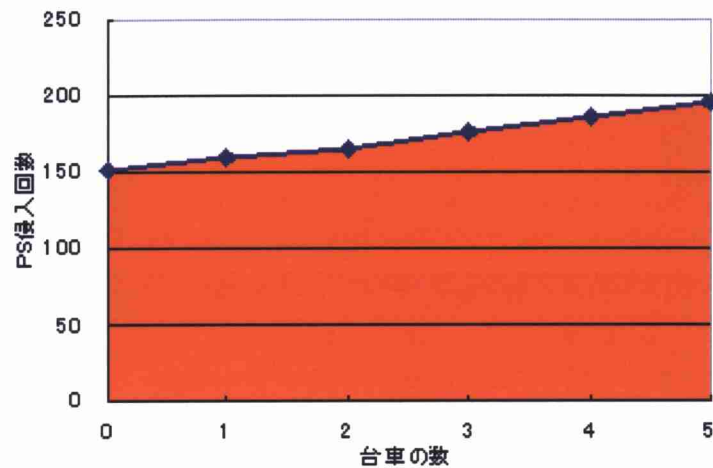


図 6.28: 雨天時における台車の影響分析

## 考察

雨天時ではサービス水準がすべて *E* ランクであった。このことから、雨天時では障害物や台車の有無にかかわらず、歩行者はかなりの不快を感じるが、障害物や台車の数が増えるほど **PS** 侵入回数も大きくなっていることから、これらの存在は歩行者の不快を増大させているといえる。

## 6.2 一般歩行者換算係数

本研究では以上の結果を用いて、各歩行空間における PS 侵入回数をフルーインのサービス水準 (4.3.2) と照らし合わせることで、高齢者・車椅子・台車・自転車の一般歩行者換算係数 (交通モードが一般歩行者の何人分に相当するかを表す換算値) を算出した (表 6.27-表 6.30)。この一般歩行者換算係数は、歩行空間の密度と交通モードの混入数によって変化する。

### 高齢者

| 歩行空間の密度 | 混入数  |      |      |      |      |
|---------|------|------|------|------|------|
|         | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    |
| 0.51    | 1.23 | 1.19 | 1.15 | 1.12 | 1.09 |
| 0.69    | 1.35 | 1.30 | 1.26 | 1.21 | 1.18 |

表 6.27: 高齢者の一般歩行者換算係数

### 車椅子

| 歩行空間の密度 | 混入数  |      |      |      |      |
|---------|------|------|------|------|------|
|         | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    |
| 0.51    | 1.25 | 1.21 | 1.15 | 1.14 | 1.13 |
| 0.69    | 1.35 | 1.29 | 1.24 | 1.19 | 1.16 |

表 6.28: 車椅子の一般歩行者換算係数

### 台車

| 歩行空間の密度 | 混入数  |      |      |      |      |
|---------|------|------|------|------|------|
|         | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    |
| 0.51    | 1.16 | 1.12 | 1.06 | 1.04 | 1.02 |
| 0.69    | 1.33 | 1.28 | 1.25 | 1.22 | 1.21 |

表 6.29: 台車の一般歩行者換算係数

## 自転車

| 歩行空間の密度 | 混入数  |      |      |      |      |
|---------|------|------|------|------|------|
|         | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    |
| 0.51    | 1.37 | 1.33 | 1.33 | 1.32 | 1.32 |
| 0.69    | 1.62 | 1.60 | 1.59 | 1.58 | 1.56 |

表 6.30: 自転車の一般歩行者換算係数

これら一般歩行者換算係数は、歩行空間における交通モードを考慮して分析する際の目安になると期待できる。



## 第7章 おわりに

### 7.1 本研究のまとめ

本研究では、一般歩行者や車椅子・高齢者・自転車など多様な交通モードを包括的に対象とし、個々の交通モードを対象としていた従来の研究では分析し得なかった混合歩行空間を評価する指標・シミュレーションを構築した。本シミュレーションにより、様々な歩行空間を仮想的に再現し、出力される歩行者の回避行動により、交通モードの混在する様々な歩行空間を評価することができた。

### 7.2 今後の課題

本研究では、様々な歩行空間を分析し評価するまでにとどまったが、シミュレーションに制約や新たなアルゴリズムを付け加えることにより、従来の歩行空間に導入すべき政策や改善すべき細かい項目も検討できるだろう。また近年、開発の目覚ましい短距離交通手段が歩行空間にどのような影響を及ぼすのか、これら交通手段は自動車に近い乗り物なのか、または自転車に近い乗り物なのか、といった議論も本シミュレーションで模索できると思われる。

また、今回はシミュレーションにより出力される一般歩行者の挙動パラメータを用いて、一般歩行者から見た歩行空間の評価を行なったが、同様にして、高齢者・車椅子・台車・自転車の各交通モードの挙動パラメータも算出しているため、これら交通モードの視点に立った歩行空間の評価分析もできると考えられる。

しかし、現状のシミュレーションにも問題が残っており、歩行者の人数が増大すると、シミュレーションがうまくいかなくなる現象がある。これは高密度になると対向する歩行者同士が進行方向に壁を作りあい、膠着状態に陥ってしまうためと考えられる。

これらを改善し、本研究で構築したシミュレーションは、歩行空間を設計する上での有意義なツールになると期待できる。

## 参考文献

- [1] 神奈川県警察, 自転車事故の実態,<http://www.police.pref.kanagawa.jp/mes/mesf0099.htm>, (2004 年 8 月アクセス)
- [2] 金利昭, 山崎恵子, 私的短距離交通手段の空間共存性と交通優先意識に関する基礎的研究-茨城県水戸市の小学生父母の意識調査を通して-, IATSS Review, Vol.28, No.2, 2003 年.
- [3] 国土交通省, 道路構造令,<http://www.mlit.go.jp/road/sign/kijyun/kozou/ss-kozou.html>, (2004 年 9 月アクセス)
- [4] 山中英生, 田宮佳代子, 山川仁, 半田佳孝, 自歩道等における自転車・歩行者混在交通の挙動分析, 第 20 回交通工学研究発表会論文報告集, 2000 年 10 月.
- [5] 山中英生, 半田佳孝, 宮城祐貴, ニアミス指標による自転車歩行者混合交通の評価法とサービスレベルの提案, 土木学会論文集 No.730, IV-59, 27-37, 2003 年 4 月.
- [6] 岡本英晃, 北川博巳, 三星昭宏, 車椅子混入と歩道幅員を考慮した歩行者挙動に関する研究, 土木学会第 54 回年次学術講演会, 平成 11 年 9 月.
- [7] 岡本英晃, 三星昭宏, 歩道上を車椅子利用者が快適に通行できる空間に関する研究, 土木計画学研究・講演集 No.23, Pt.2, pp.875-878, 2000 年 11 月.
- [8] 佐藤陽子, 木村一裕, 清水浩志郎, 横山哲, 歩行空間における車いすと歩行者の挙動に関する研究, 第 15 回交通工学研究発表会論文報告集, 1995 年 11 月.
- [9] 古川容子, 土屋伸一, 宮野義康, 吉田直之, 長谷見雄二, 群衆歩行行動における高齢者・身体障害者の影響 (その 3) -高齢者疑似体験用具使用者を含む群衆の水平面における歩行行動特性-, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (北陸), 2002 年 8 月.
- [10] 白坂浩一, 金利昭, 共存性分析のための私的短距離交通手段の新しい評価値の設定
- [11] 中山晴幸, 大村武馬, 歩行者の歩行挙動の検討とそのシミュレーション, 土木計画学研究・講演集 No.16(1), 1993 年 12 月.
- [12] 和田剛, スクランブル交差点における歩行挙動モデルとシミュレーション, 東京工業大学平成 13 年論文.
- [13] 鈴木雄高, 日比野直彦, 毛利雄一, 兵藤哲朗, ビデオ画像を用いた歩行者挙動分析に関する考察, 第 21 回交通工学研究発表会論文報告書, 2001 年 10 月.
- [14] 岡田公孝, 和田剛, 高橋幸雄, 個人行動をベースにした歩行モデルと高密度シミュレーション, 東京工業大学 2003 年度修士論文.
- [15] デルフト工科大学, Transport and Planning Section, <http://www.transport.citg.tudelft.nl/>, (2004 年 8 月アクセス)
- [16] 大蔵泉, 土木系大学講義シリーズ 16「交通工学」, (コロナ社, 1993 年)

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、多くの方々にご協力・ご援助をいただきました。

東京海洋大学教授の高橋洋二先生、同助教授の兵藤哲朗先生には、本論文をまとめるにあたり、貴重なご意見・ご指導を承りましたことに、厚くお礼を申し上げます。

東京海洋大学教授の苦瀬博仁先生には、貴重なご意見や激励をいただいたことに、厚くお礼を申し上げます。

東京海洋大学地域計画研究室の徳永達己さんには、貴重なアドバイスをいただきました。また、同研究室の松橋信幸くんには、シミュレーションを作成する際に有益なアドバイスをいただいたり、**Visual Basic**のプログラムを作成していただきました。深くお礼を申し上げます。

歩行者実験を行なうにあたり、車椅子を貸していただいた東京海洋大学保健管理センターの皆様、台車を快くお貸しくださった同大学助教授の黒川久幸先生に、厚くお礼を申し上げます。

また、紅白帽子を被って歩行者実験に参加してくださった東京海洋大学地域計画研究室のナッシュリーン シナリンボさん、土田元氣くん、中村俊仁くん、前田鉦太くん、八代渉くん、シジネィ シュハイナーさん、神谷潤くん、伊藤佳代子さん、大野暁雄くん、木下武志くん、鈴木咲子さん、長谷部浩之くん、同大学知識情報設計研究室の安田清吾くん、深く感謝いたします。

既往研究の収集や画像処理には、日本大学交通システム研究室の端野良彦くんがご協力してくださいました。深く感謝いたします。

ご協力・ご援助いただいた多くの方々に、この場を借りて深くお礼を申し上げます。

どうもありがとうございました。